

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Úprava pevného zásobníku na zásobník
s automatickým podáváním materiálu
pomocí elektropohonu

Adjustment of the Solid Bar Feeder onto the
Automatic Bar Feeder with Electric Motor
Drive

Student:	Bc. Daniel Kurač
Osobní číslo	KUR0116
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniel Kurač**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Úprava pevného zásobníku na zásobník s automatickým podáváním
materiálu pomocí elektropohonu**
**Adjustment of the Solid Bar Feeder onto the Automatic Bar Feeder with
Electric Motor Drive**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Upravte stávající pevný zásobník na ocelové trubky na zásobník s automatickým podáváním. Součástí návrhu bude i řešení pro mazání trubek olejem. Nosnost zásobníku 1400 kg a maximální rozměr vstupního balíku je o průměru 650 mm a délce 1600 mm. Ze zásobníku se odebírá tyč každých 11 s. Navrhněte varianty řešení a pro vybraný návrh zpracujte 3D model a odpovídající výkresovou dokumentaci. Rozsah bude upřesněn vedoucím práce. Návrh zkontrolujte vhodnými výpočty a analýzami.

Seznam doporučené odborné literatury:

KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1860-3
DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanex a. s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočet a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady ČaMS Spoje*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopisné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. května 2020



.....
Podpis studenta

Prohlašuji že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. května 2020

.....
Podpis studenta

ANOTACE

KURAC, D., *Úprava pevného zásobníku na zásobník s automatickým podáváním materiálu pomocí elektropohonu: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 55 s., Vedoucí práce: Kubín, T.

Diplomová práce se zabývá úpravou stávajícího pevného zásobníku na trubky a tyče na zásobník s automatickým dávkováním materiálu do ohýbačky pomocí elektropohonu. Dále návrhem mazacího zařízení, které zaručí namazání polotovaru před vstupem do ohýbačky. Cílem této práce je návrh vhodného způsobu a pohonu dávkování materiálu. Volba způsobu mazání. Návrh mazacího zařízení. Způsob upevnění dávkovací konstrukce a mazacího zařízení. Celá konstrukce je zpracovaná ve formě 3D modelu.

ANNOTATION

KURAC, D., *Adjustment of the Solid Bar Feeder onto the Automatic Bar Feeder with Electric Motor Drive*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020, 55 p., Thesis head: Kubín, T.

The master thesis deals with the adjustment of current solid bar feeder onto automatic bar feeder with electric motor drive. Construction design of the lubrication device which lubricates material before entering the bar bender. The aim of the thesis is design suitable way of feeding and electric motor drive for material feeding. A way how to change solid bar feeder and adjustments attachment. Choose correct lubrication method. Design of the lubrication device and appropriate fixing onto bar feeder. The entire construction is created as 3D model.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
Úvod	8
1. Představení firmy	9
2. Zhodnocení současného stavu.....	10
3. Varianty řešení	15
3.1 Představení problematiky	15
3.2 Návrhy automatického podávání materiálu	17
3.3 Návrhy mazání materiálu.....	20
4. Vlastní návrh úpravy konstrukce zásobníku	22
4.1 Popis konstrukce zásobníku.....	22
4.2 Zvolené nakupované díly.....	27
4.3 Popis funkce	31
5. Pevnostní analýza.....	36
5.1 Kontrola zvedacího ramene	36
5.2 Kontrola čepu	39
5.3 Kontrola nosné konstrukce	42
5.4 Celková kontrola konstrukce	46
6. Cenová kalkulace	50
7. Závěr	52
8. Seznam použité literatury.....	53
9. Seznam příloh	54

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
d	Průměr čepu	[mm]
g	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
m	Hmotnost balíku působící na 1 rameno	[kg]
p	Napětí v tlaku	[MPa]
p_D	Dovolené napětí v tlaku	[MPa]
s	Šířka čepu	[mm]
G	Gravitační síla balíku	[N]
L_1	Vzdálenost mezi čepem a spojitým zatížením	[mm]
L_2	Délka spojitého zatížení	[mm]
L_3	Rozestup mezi čepem a přichycením elektropohonu	[mm]
L_4	Vzdálenost samostatné síly od spojitého zatížení	[mm]
R_A	Reakce v čepu	[N]
R_B	Reakce v elektropohonu	[N]
R_{BX}	X složka síly R_B	[N]
R_{BY}	Y složka síly R_B	[N]
S_p	Otlačovaný průřez	[mm ²]
S_s	Stříhaný průřez	[mm ²]
α	Úhel naklonění elektropohonu	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]
τ_s	Napětí ve stříhu	[MPa]
τ_{SD}	Dovolené napětí ve stříhu	[MPa]

Úvod

Téma diplomové práce je od firmy Mubea Stabilizer Bar Systems s.r.o sídlící v Prostějově. Prostějovský závod se zaměřuje na výrobu stabilizátorů pro automobilový průmysl. S firmou Mubea spolupracuji už od střední školy, kdy se moje maturitní práce zabývala propojením výrobních linek pomocí robotického ramene. V bakalářské práci jsem navrhoval zařízení pro měření tloušťky laku na lakovacích závěsech pro stabilizátory, a práce je ve fázi realizace

Výroba stabilizátorů začíná ohýbáním rovných polotovarů, které jsou do ohýbačky podávány pomocí zásobníku. Současný pevný zásobník má nedostatky, které jsou nevyhovující v současném směru, při kterém je vyžadována automatizace a velká produktivita. V zásobníku dochází k překřížování a blokování tyčí a trubek, a to způsobuje zpomalení produkce.

Z tohoto důvodu byl zadán požadavek na úpravu a automatizaci současného zásobníku tyčí a trubek a je požadováno odstranění nedostatků. Práce je ještě rozšířená o návrh zařízení, které má mazat rovný polotovar olejem před vstupem do ohýbačky. Mazání rovných polotovarů povede ke zmenšení opotřebení ohýbacích nástrojů a ohýbaný materiál nebude náchylný k prasknutí při ohýbání.

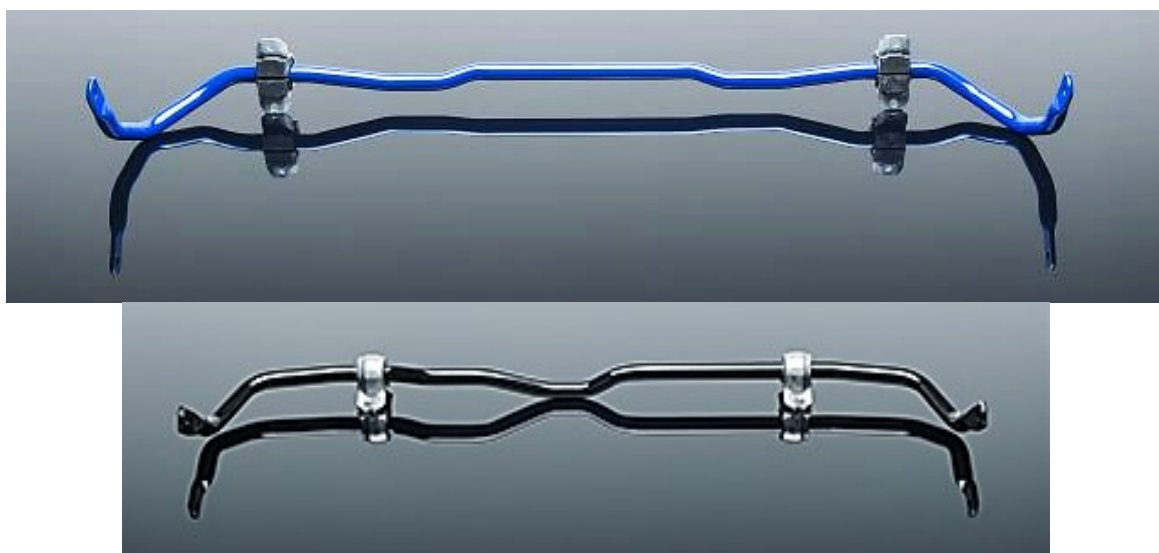
1. Představení firmy

Firma Mubea je světový výrobce součástí převážně pro automobilový průmysl. Výrobní portfolio tvoří široká škála produktů. Vyráběné produkty lze roztrdit do pěti hlavních skupin:

- Podvozky (pružiny, stabilizátory, součásti pro zavěšení kol)
- Karosérie a interiér aut (součásti rámu, díly pro sedačky)
- Pohonné jednotky (ventilové pružiny, napínače řemenů)
- Letectví (složitě tažené díly, automatizované nanášení povrchové ochrany)
- Ostatní průmysl (talířové pružiny, přesné ocelové trubky)

Práci jsem dostal zadanou z Prostějovského závodu, který se zaměřuje na výrobu stabilizátorů. Stabilizátory slouží ke zmírnění náklonu a převrácení auta při rychlejším průjezdu zatáčkou. Od stabilizátorů se očekává vysoká pevnost a malá hmotnost, proto se tyče a trubky vyrábí z vysokopevnostní oceli 34MnB5 nebo z uhlíkových vláken. Ukázka hotových stabilizátorů je na Obrázku 1. [1]

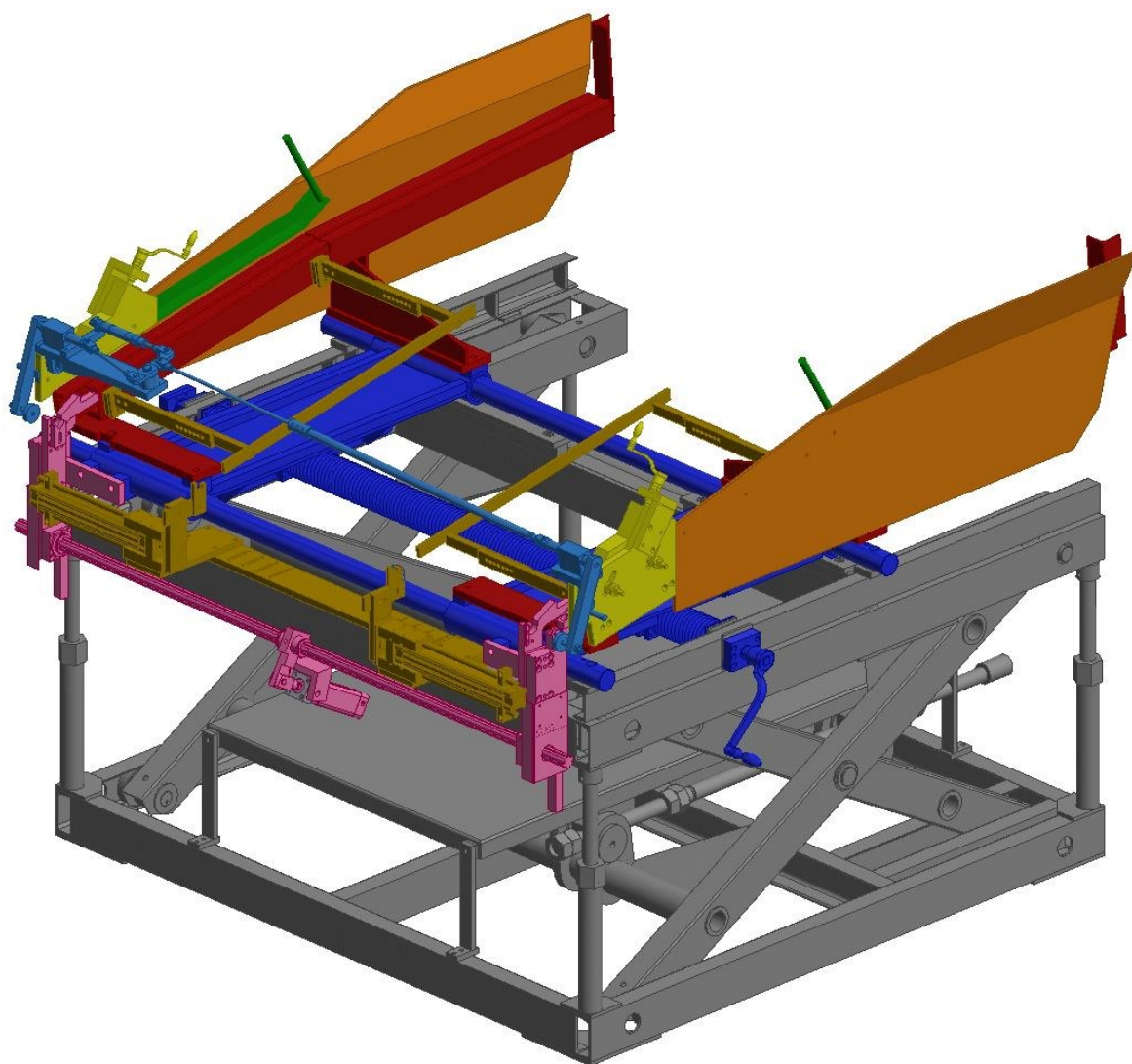
Konce ramen stabilizátoru jsou uchyceny k zavěšení kol a prostřední část je přes nalisované objímky připevněna k rámu auta. Stabilizátor se snaží co nejvíce snížit rozdíl stlačení pružin zavěšení na obou stranách auta. Při zatáčení dochází ke stlačení pružin na vnější straně auta. Auto se začne naklápět a stabilizátor zkrucovat. Stabilizátor svou odolností proti zkroucení tohle stlačení pružin přenáší na pružiny na vnitřní straně a auto tím vyrovnává.



Obrázek 1 – Hotový stabilizátor [1]

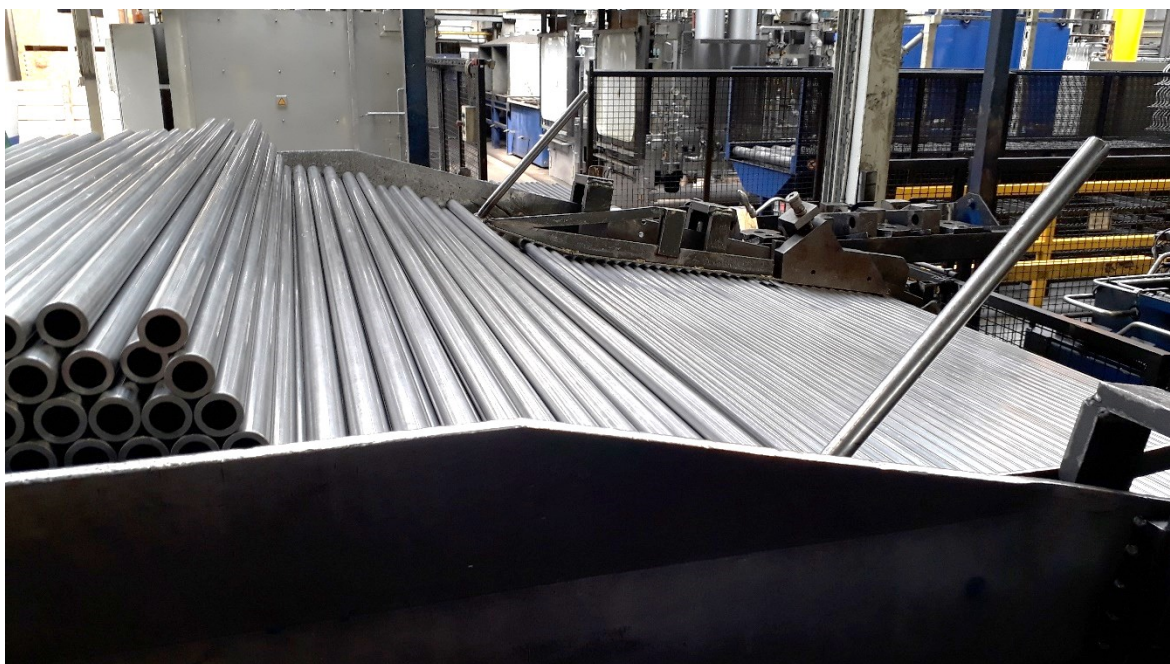
2. Zhodnocení současného stavu

Proces výroby stabilizátoru začíná ohýbáním rovných trubek nebo kruhových tyčí na požadovaný tvar stanovený automobilkou. Zadání diplomové práce se zabývá úpravou pevného zásobníku na tyče a trubky, který podává polotovary do ohýbačky, viz Obrázek 2. Tento typ zásobníku se používá u ohýbací linky anebo u lisu. Ohýbacích strojů se ve firmě nachází více než deset.



Obrázek 2 – Současný pevný zásobník

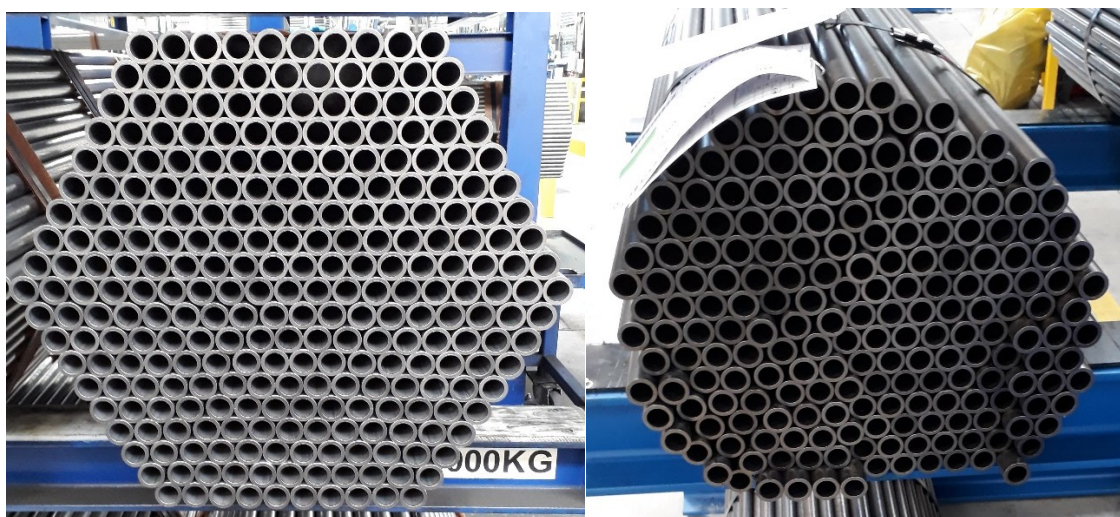
Do zásobníku se dávají rovné polotovary sepnuté ve svazcích. V zásobníku následně dochází k rozdělení svazku na jednotlivé polotovary, přichystání polotovaru k předání do ohýbačky a dodatečným úpravám materiálu (posunutí kroužků, vycentrování materiálu). Naplněný zásobník je na Obrázku 3.



Obrázek 3 – Rozložení materiálu v zásobníku

Dodávaný materiál

Materiál na výrobu stabilizátoru se dodává v šestihranných nebo kruhových svazcích, viz Obrázek 4. Stabilizátory se vyrábí z tyčí nebo trubek o průměru 10 – 34,25 mm a délce 1 000 – 2 200 mm. Nejtěžší dodávaný balík je s trubkami o vnějším průměru 34,25 x 4,5 a délce 1 586 na Obrázku 4 vlevo, který váží 1 420 kg. Pro tento typ balíku se bude navrhovat automatické dávkování.



Obrázek 4 – Typy balíků

Plnění zásobníku

Zásobník se plní pomocí vysokozdvizného vozíku, na který se naloží balík, viz Obrázek 5. Materiál se do zásobníku podává shora. S naloženým vysokozdvizným vozíkem se přijede k zásobníku zezadu a poté se balík pomalu spouští dolů, než dosedne na vodící dráhu. Následně se odstříhnou spojovací pásy a odjede s vozíkem. Při odstřihávání pásů je potřeba postupovat opatrně, protože se balík často nekontrolovaně rozpadne.



Obrázek 5 – Nakládání zásobníku

Popis zásobníku

Balík materiálu (1) se nakládá na vodící dráhu (3) s bočnicemi (2), viz Obrázek 6. Bočnice se používají k navádění materiálu při plnění a drží materiál ve vymezeném prostoru. U současné pevné verze naložený balík není plně zakryt bočnicí. Při rozstřihnutí pásů, kterými jsou balíky sepnuty, mohou polotovary naskočit na bočnici a přispívat tím k překřížování a blokování materiálu.

Rozpuštěné polotovary jsou zachyceny o zadní zábranu a svod (4) a poté začnou gravitací sjíždět do mezery mezi vodící dráhou a svodem. Mezera mezi dráhou a svodem se nastavuje pomocí korekce mezery (5). Mezera se nastavuje podle průměru polotovaru tak, aby se trubky a tyče skládaly za sebe, nikoliv na sebe, protože tím by mohlo docházet k překřížování a následnému blokování dráhy.

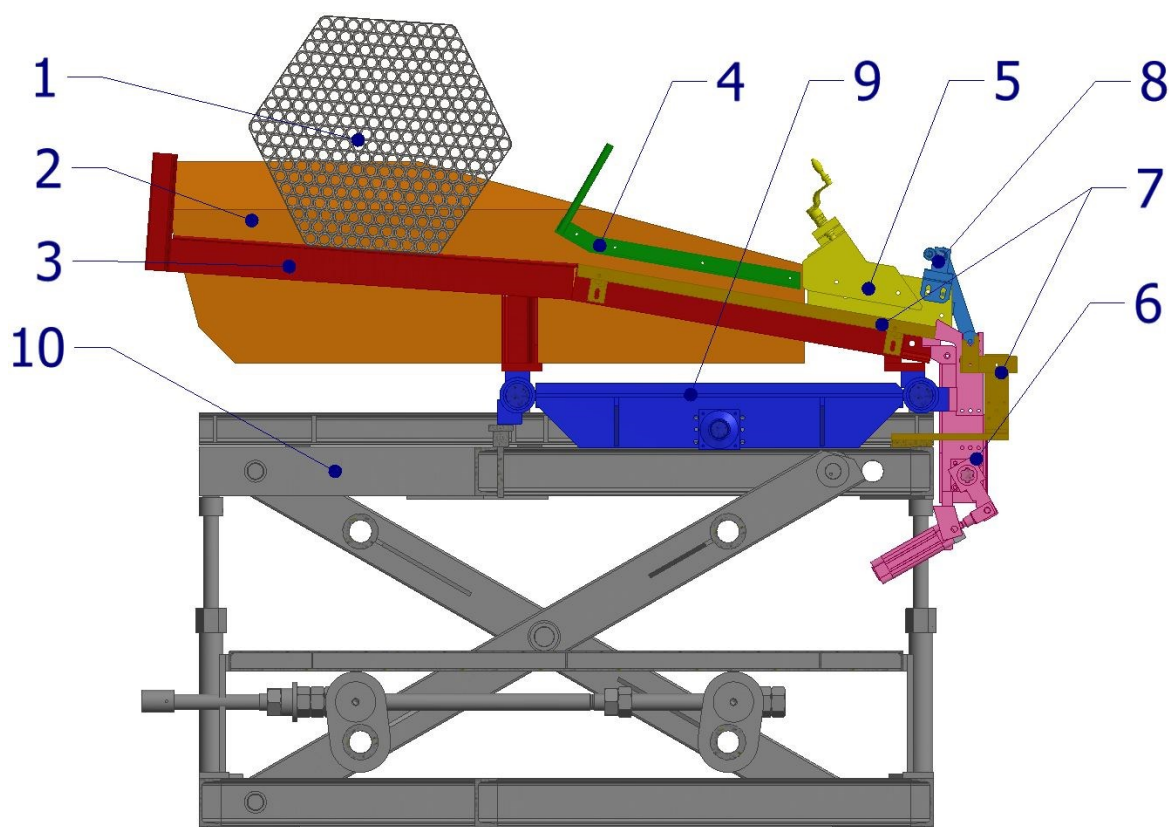
Na konci dráhy jsou polotovary zastaveny odebíracím zařízením (6). Odebírací zařízení materiál pístem nadzvedne a ten následně sjede do odebírací polohy. V odebírací poloze je

polotovaru vystředěn středícím zařízením (8). Rovné polotovary se v ohýbačce ohýbají na obou stranách zároveň, proto je potřeba je vystředit.

U některých typů stabilizátorů se používají kroužky pro určení míst pro nalisování objímky, kde se stabilizátor přichytí k rámu auta. Protože přes ohyby tyče by kroužky nešly nasadit, jsou nasazeny už na rovné tyči. Pomocí zařízení pro vedení a posouvání kroužků (7) jsou kroužky drženy ve střední části tyče a poté posunuty ke středu, aby nemohlo dojít k zachycení kroužků čelistmi ohýbačky. Následně už může dojít k odběru tyče.

Délky polotovaru se mění. Z tohoto důvodu je potřeba možnost měnit rozměr mezi bočnicemi. Přisouvání nebo odsouvání bočnic je řízeno posouvacím zařízením (9), které se ovládá pákou z vnější strany. Všechny části zásobníku jsou připevněny k dráze nebo bočnici. To usnadňuje změnu rozměru. Posuvné zařízení je spojeno s dráhou přes kotevní desky.

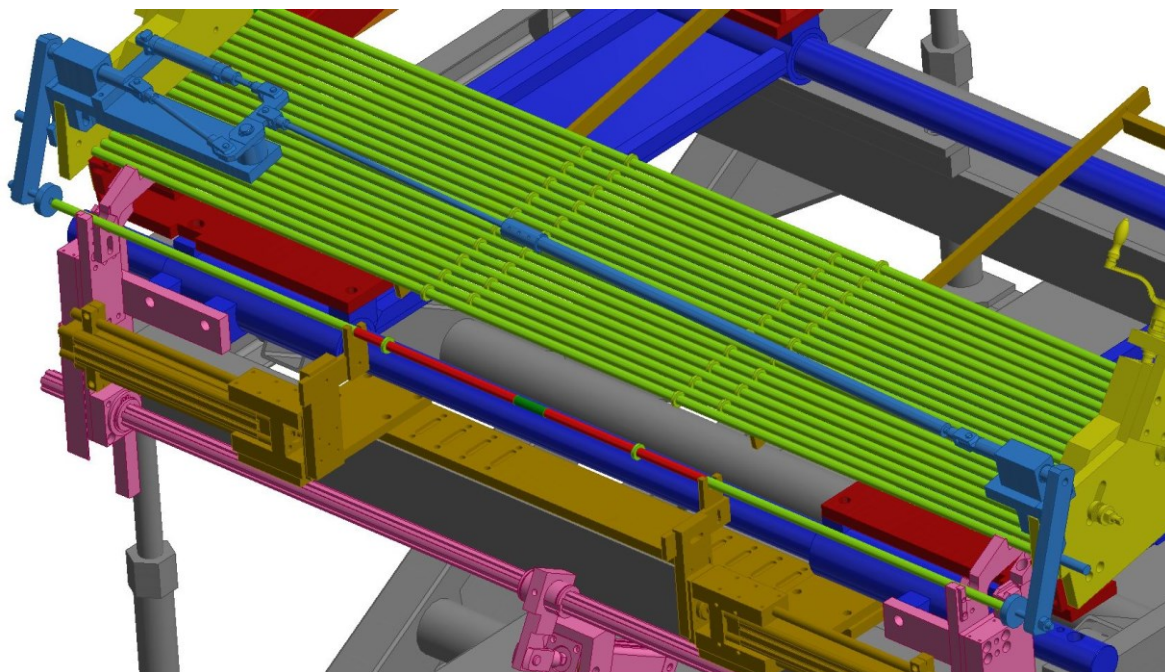
Celý zásobník je přes posuvné zařízení připevněn k nosnému rámu (9). U ohýbačky s přímým odběrem je pomocí rámu možné nastavit výšku, ve které se má materiál nacházet. V současnosti s rostoucím použitím robotů není upravování výšky tolik potřeba.



Obrázek 6 – Pevný zásobník

- 1-Svazek materiálu; 2-Bočnice; 3-Vodící dráha; 4- Zachycení a svod materiálu;
5-Korekce mezery; 6-Odebírací zařízení; 7-Vedení a posouvání kroužků;
8-Centrování materiálu; 9-Posuv bočnic; 10-Nosný rám*

Na obrázku 7 je bližší pohled na přední část zásobníku. Jde lépe vidět tyč (zelená) přichystanou na odebíracím zařízení (růžová), kde dochází k vystředění (modrá) a posunutí kroužků (zlatá). Pomocí pístu se kroužky na tyči posunou z červené zóny do zelené, ve které nehrozí sevření kroužků čelistmi ohýbačky.



Obrázek 7 – Přední část zásobníku

3. Varianty řešení

3.1 Představení problematiky

Stabilizátory se používají v automobilovém průmyslu, kde je vysoká sériovost. Je proto vyžadována velká produktivita strojů. S tím souvisí potřeba zajistit neustálé dávkování polotovaru do ohýbačky, aby na ohýbačce nedocházelo k prostojeům. K odběru polotovaru robotem nebo přímo ohýbačkou dochází přibližně každých 11 sekund. V největším balíku je 331 trubek z toho vyplývá, že při nepřetržitém tempu se celý balík spotřebuje za cca 70 minut.

U současné pevné verze se materiál posouvá jen pomocí gravitace. Způsob tohoto posunu není ideální, protože se polotovary mohou lehce překřížit nebo zablokovat při vstupu mezi svod a dráhu. Po mnohačetném používání se zešikmené vodící dráhy opotřebovávají a materiál už po nich nesjíždí s lehkostí. Obsluha ohýbací linky proto musí pravidelně kontrolovat zásobník, jestli je materiál správně uložen u odebíracího zařízení.

Z těchto důvodů se ve firmě zadal požadavek na návrh úpravy stávajícího pevného zásobníku na zásobník s automatickým dávkováním materiálu. Hlavním požadavkem je, upravit zásobník tak, aby došlo k zabránění překřížování polotovarů a s tím vznikajícím blokováním materiálu mezi svodem a vodící dráhou. Úpravy se budou zejména týkat zadní části zásobníku zobrazené na Obrázku 8, kde je dostatek prostoru na zlepšení.



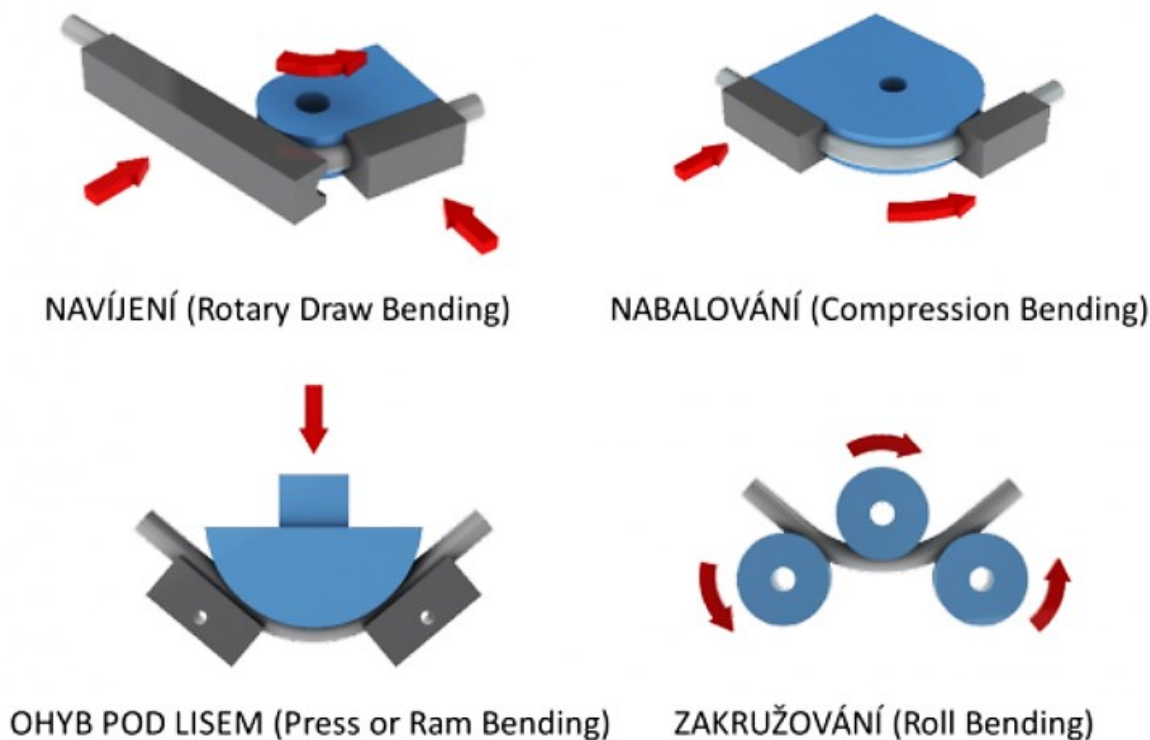
Obrázek 8 – Upravovaná část zásobníku

Dále je nutné zachovat volný prostor mezi bočnicemi, protože se zásobník nakládá shora vysokozdvizným vozíkem. To vylučuje možnost dávkování jedním centrálním pohonem. U jednoho pohonu by vznikl problém i při změně délky polotovaru a posouváním bočnicemi, kdy by se musel pohon přenastavit. Z těchto důvodů bude mít každá strana svůj vlastní pohon.

Další požadavek se týká typu pohonu pro dávkování, kde se vyžaduje dávkování pomocí elektropohonu. U pneumatického pohonu by se nedal regulovat zdvih a u hydraulického by byla potřeba senzorů. Z těchto důvodů a také kvůli lepší synchronizaci je preferováno podávání materiálu pomocí elektropohonu.

Nakonec byl zadán požadavek na návrh mazacího zařízení materiálu a jeho nastavitelné připevnění k zásobníku. K ohýbání polotovaru dochází způsobem, kdy čelisti pevně chytí materiál a následně jej o nástroj ohýbají. Příklady používaných způsobů ohýbání jsou na Obrázku 9. Ve firmě se používá ohýbání navíjením a pod lisem.

Cílem je navrhnout mazací zařízení pro mazání ohýbaného materiálu tažnými oleji, které způsobují menší povrchové tření mezi materiálem a nástrojem. Zmenšením tření dojde i ke snížení vznikajícího tepla, a to povede k větší stálosti nastaveného úhlu ohybu materiálu. Mazáním bude také docházet k menšímu opotřebení nástrojů a polotovar nebude náchylný k prasknutí.



Obrázek 9 – Způsoby ohýbání

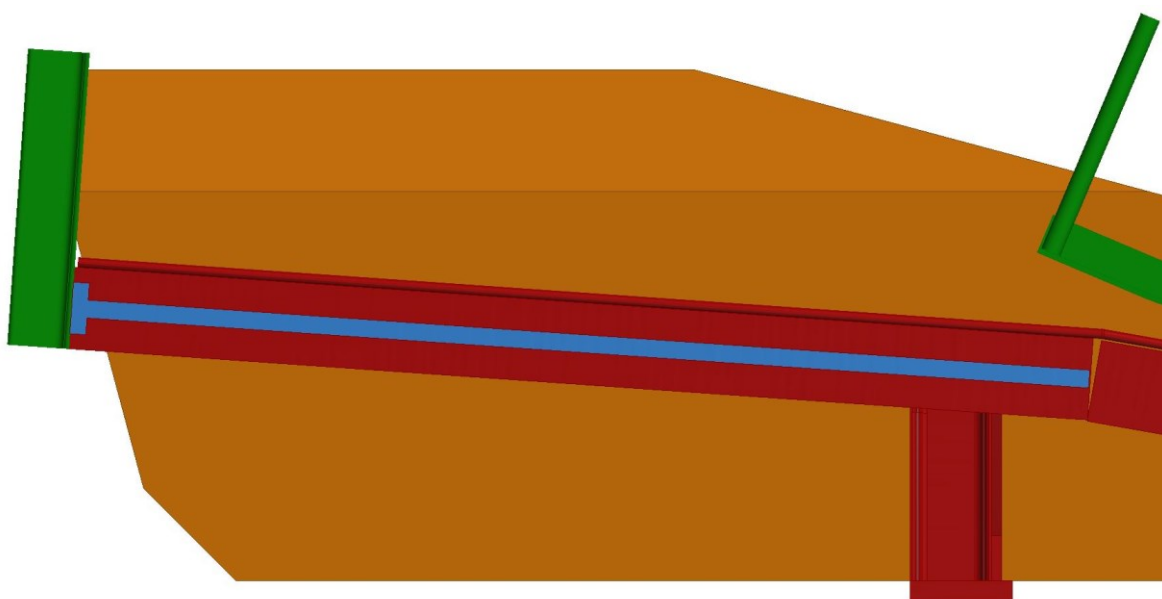
Zdroj: <https://www.omni-x.com/cz/cs/bending-guide/>

3.2 Návrhy automatického podávání materiálu

Konstrukce s bočním posouváním

U konstrukce s bočním posouváním by docházelo ke shrnování materiálu zadní zábranou proti vypadnutí (zelená), viz Obrázek 10. Zábrana by byla připojena k elektropohonu (modrá), který by byl přichycen na vodící dráze.

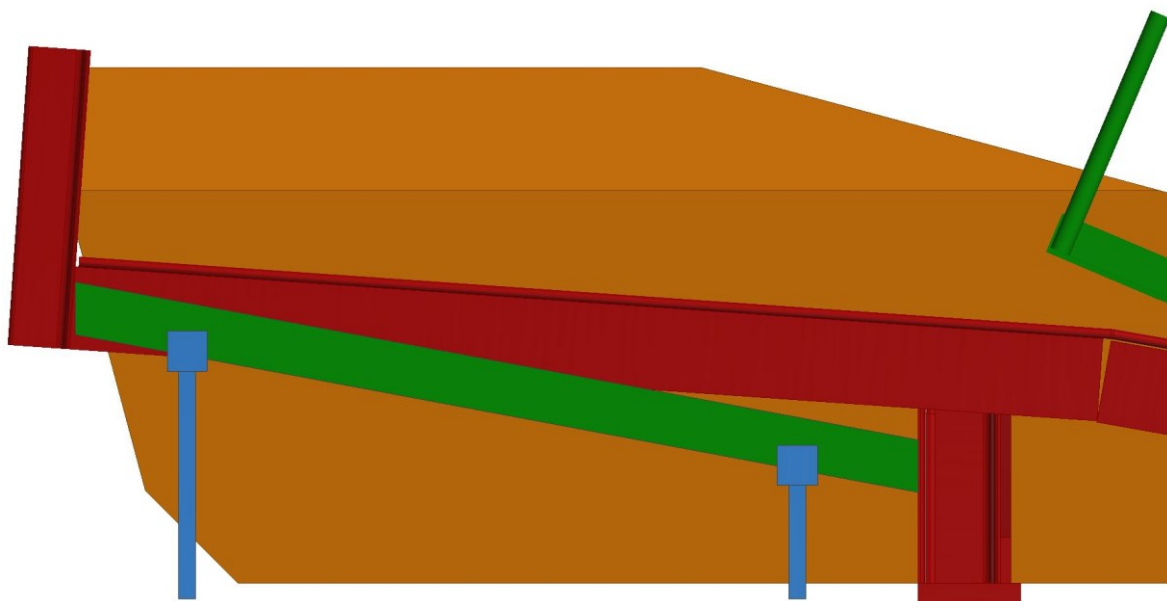
Velkou výhodou tohoto návrhu je jeho jednoduchost, kdy by se nemusel zásobník složitě měnit a pohon by byl spojen přímo s vodící dráhou. U bočního posouvání by nedošlo k omezení blokování materiálu mezi svodem a dráhou. Nevýhodou je samotný boční posun, který by silou tlačil polotovary mezi svod a dráhu a tím zhoršoval blokování polotovarů.



Obrázek 10 – Konstrukce s bočním posouváním

Konstrukce se spodním vysouváním

Při podávání materiálu u konstrukce se spodním vysouváním by se materiál posouval nadzvedáváním zešíkmené desky. Deska by postupně vyjížděla nahoru a polotovar by po ní sjížděl k odběru, viz Obrázek 11. Zatímco by mohlo dojít k zmírnění překřížování trubek a tyčí, jelikož by byly pořád ze stran podepírány, nedošlo by k omezení blokování materiálu u svodu.



Obrázek 11 – Konstrukce se spodním vysouváním

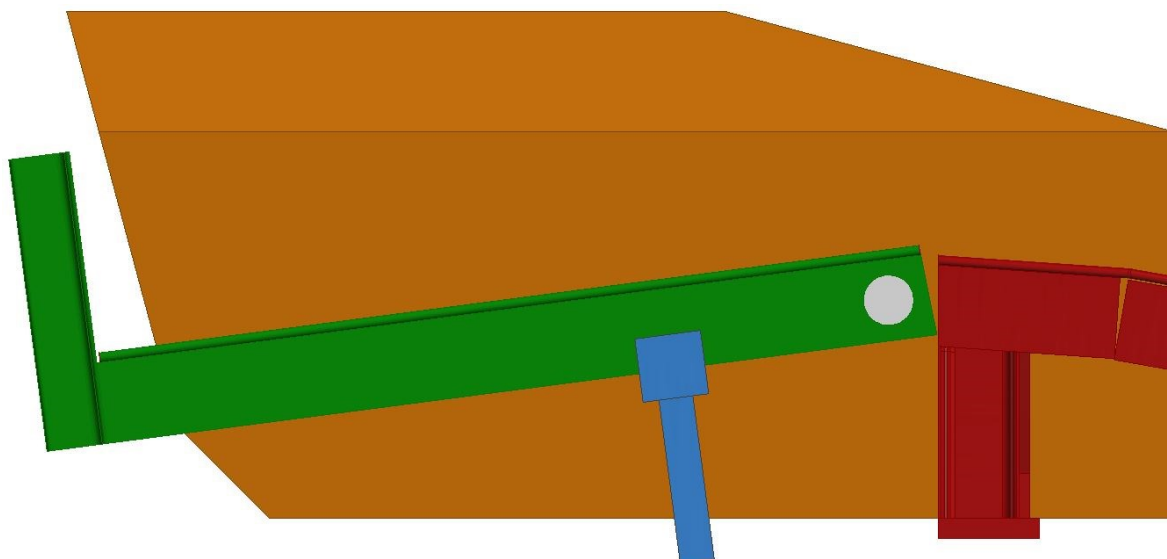
Z těchto dvou verzí plyne, že nepříznivé účinky, nehledě na typ dávkování, stále vznikají u svodu. Proto se zaměřím na verze, kde se nebude tlačit materiál mezi svod a dráhu, anebo bude možné svod úplně odstranit.

Konstrukce s vodící dráhou na čepu

Konstrukce s vodící dráhou na čepu by už byla náročnější na úpravu současného stavu zásobníku. Vodící dráha by se musela oddělit od bočnice. Dále by bylo potřeba zvětšení bočnice, aby nemohlo dojít k zachycení materiálu mezi dráhu a bočnicí, zvětšení tloušťky bočnice v místě spojení s čepem a vyřešit připevnění pohyblivého elektropohonu.

Vodící dráha by se oddělila od bočnice a připevnila otočně na čep (šedá), viz Obrázek 12. Tuhle úpravou by došlo ke zvětšení prostoru zásobníku a dávkování by se mohlo regulovat postupným zvedáním dráhy. Postupným zvedáním by na sebe všechny polotovary netlačily při snaze vtěsnat se do prostoru mezi svod a dráhu a tím by nedocházelo k zablokování, takže, by se mohl odstranit svod materiálu. U postupného zvedání by také nejdříve padaly polotovary shora, a ne různě, takže by se nepřekřížovaly.

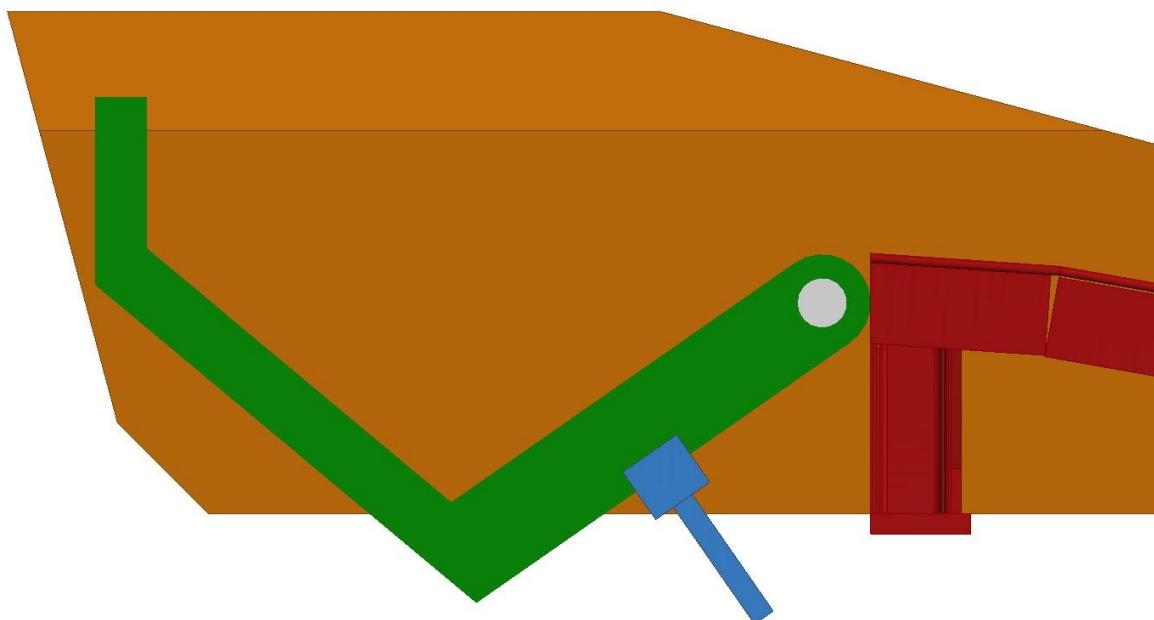
Jedinou nevýhodou této verze je současná konstrukce vodící dráhy, která je tvořená dvěma U profily svařenými k sobě do tvaru čtvercové trubky. Tento stav by ztížil propojení s čepem. Z tohoto důvodu by bylo nutné upravit připojovací část dráhy.



Obrázek 12 – Konstrukce s vodící dráhou na čepu

Konstrukce s ohnutým ramenem na čepu

Na Obrázku 13 jde vidět vylepšení předchozí varianty konstrukce s vodící dráhou na čepu. Úpravy stávajícího zásobníku by zůstaly stejné jako u předchozí verze. Vodící dráha by byla nahrazena zahnutým ramenem z jednoho kusu materiálu pro lepší spojení s čepem. Použitím zahnutého ramene se podstatně zvětší prostor zásobníku. Při plnění se i největší balík schová za bočnice. U tohoto typu by také došlo ke snížení síly působící na elektropohon způsobené momentem od balíku na dlouhém rameni.

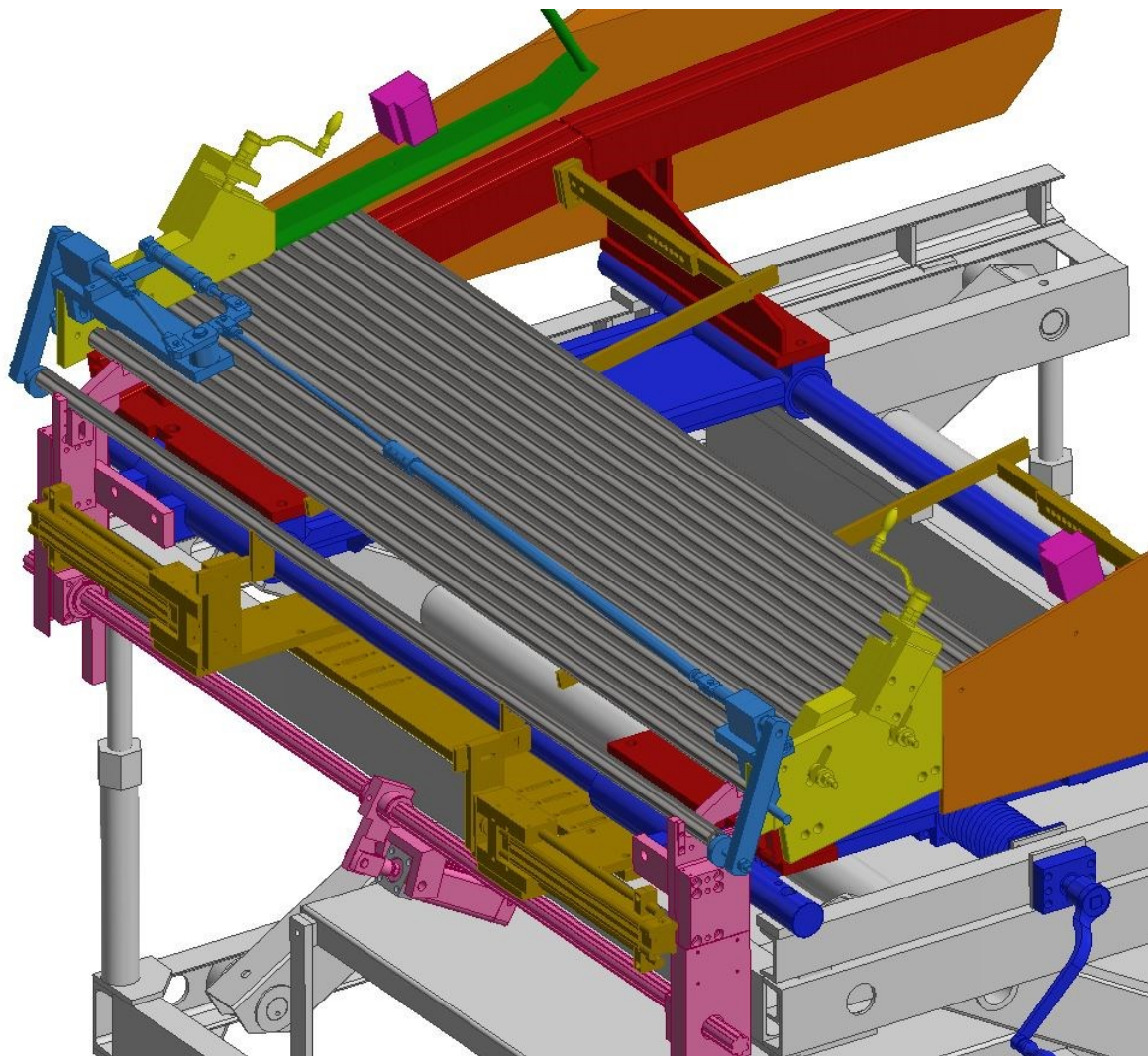


Obrázek 13 – Konstrukce s ohnutým ramenem na čepu

3.3 Návrhy mazání materiálu

Mazání pomocí dvou stacionárních pistolí

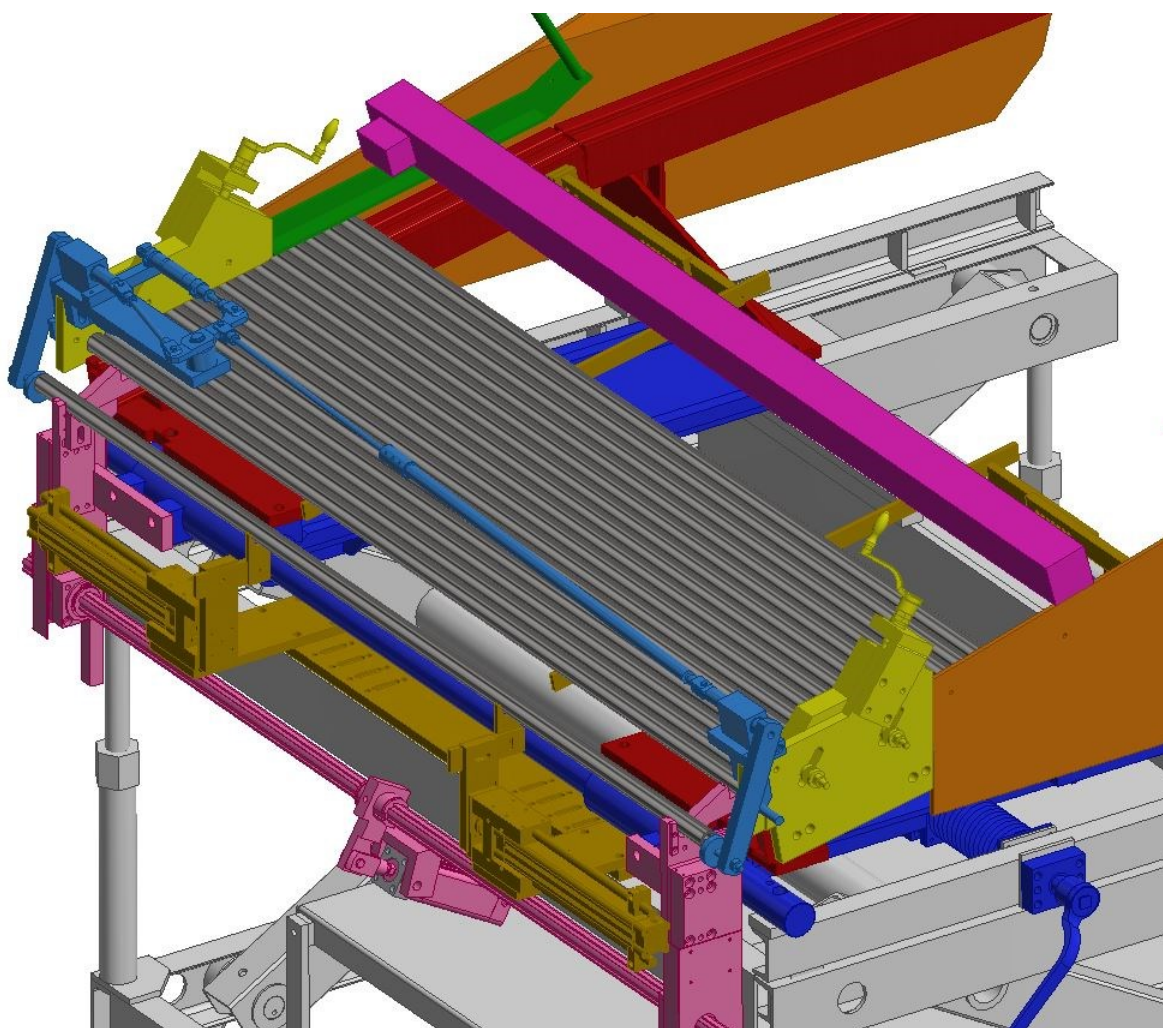
Mazací pistole (purpurová) by se umístily na obě bočnice a pod úhlem by stříkaly olej na materiál, viz Obrázek 14. Výhodou by byla jednoduchost konstrukce. Jako nevýhoda se jeví nerovnoměrné mazání polotovarů po celé jejich délce. Nejvíce maziva by bylo na krajích polotovarů a problém by to představovalo u stabilizátorů s ohybem blíže středu. U ohýbání nejdelších polotovarů by u středu byla minimální vrstva anebo žádná.



Obrázek 14 – Mazání pomocí dvou stacionárních pistolí

Mazání pomocí jedné mobilní pistole

Mazací pistole by se uchytila na píst, který by se připevnil mezi bočnice, viz Obrázek 15. Po určitém počtu odebraných rovných polotovarů dojde k přjetí pistole a nanesení rovnoměrné vrstvy oleje na trubky nebo tyče. U pohybující pistole bude potřeba vyřešit způsob dodávání maziva, aby se hadice pohybovaly společně s pistolí. Dále je nutno navrhnout upnutí zařízení k bočnici, aby se mohlo bez složitějšího přestavování zařízení pohybovat s bočnicemi. Konstrukce této navrhnuté verze je složitější, nicméně dojde tím k odstranění nevýhody předchozí varianty s mazáním nepohyblivými pistolemi.



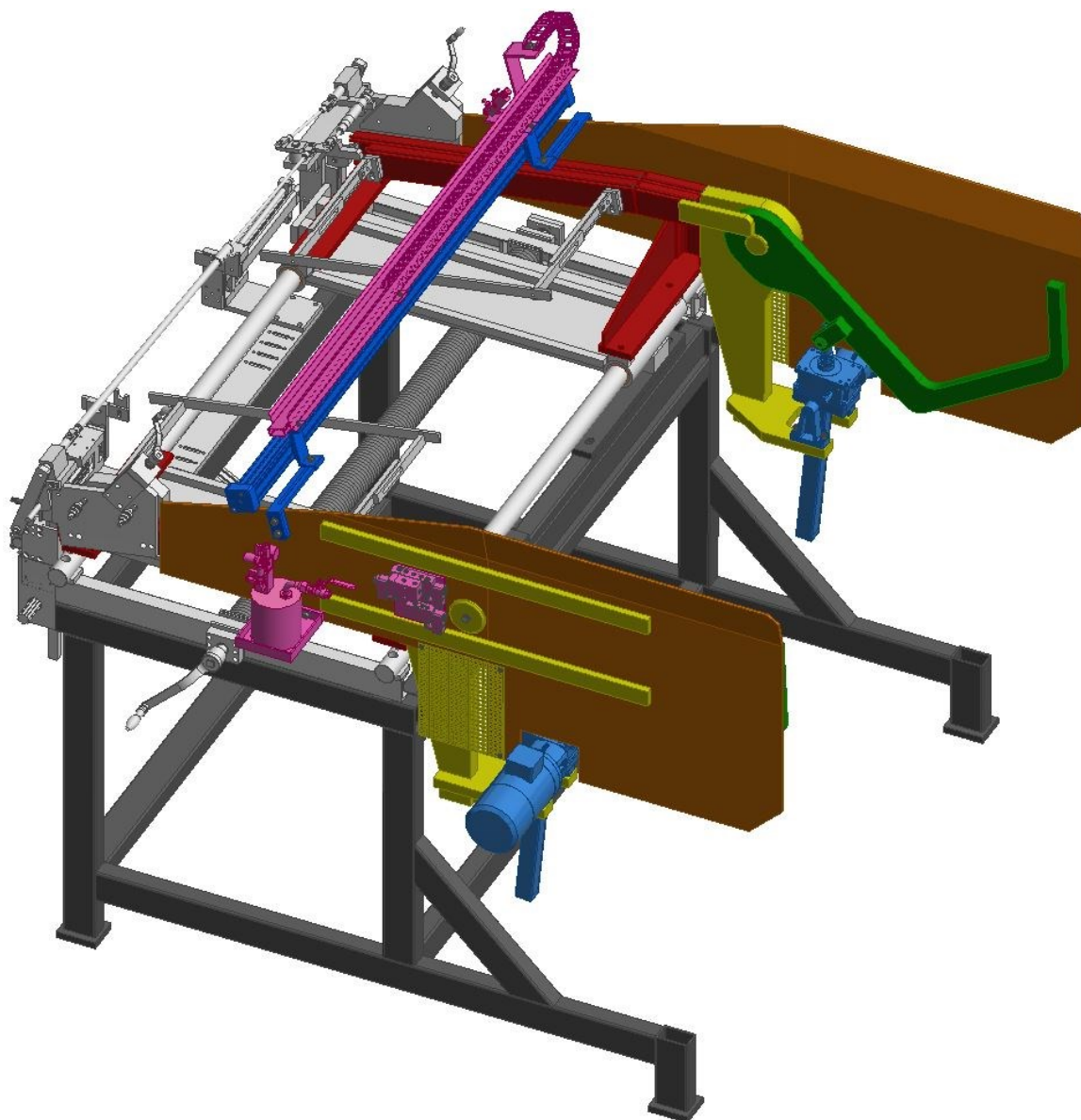
Obrázek 15 – Mazání pomocí pistole připevněné k pístu

Po návrhu několika variant řešení zvedacího a mazacího zařízení, zbývá potřeba vybrat ty, které nejlépe splňují požadavky zadané firmou a navrhnout vhodné konstrukční řešení.

4. Vlastní návrh úpravy konstrukce zásobníku

4.1 Popis konstrukce zásobníku

Navrhovaná verze úpravy zásobníku, viz Obrázek 16, vychází z návrhu zvedání s ohnutým ramenem a mazání přejíždějící pistolí. Návrh úprav včetně šroubů jsem vytvořil v programu Autodesk Inventor Professional 2020. Elektrická, hydraulická a pneumatická instalace není součástí 3D modelu.

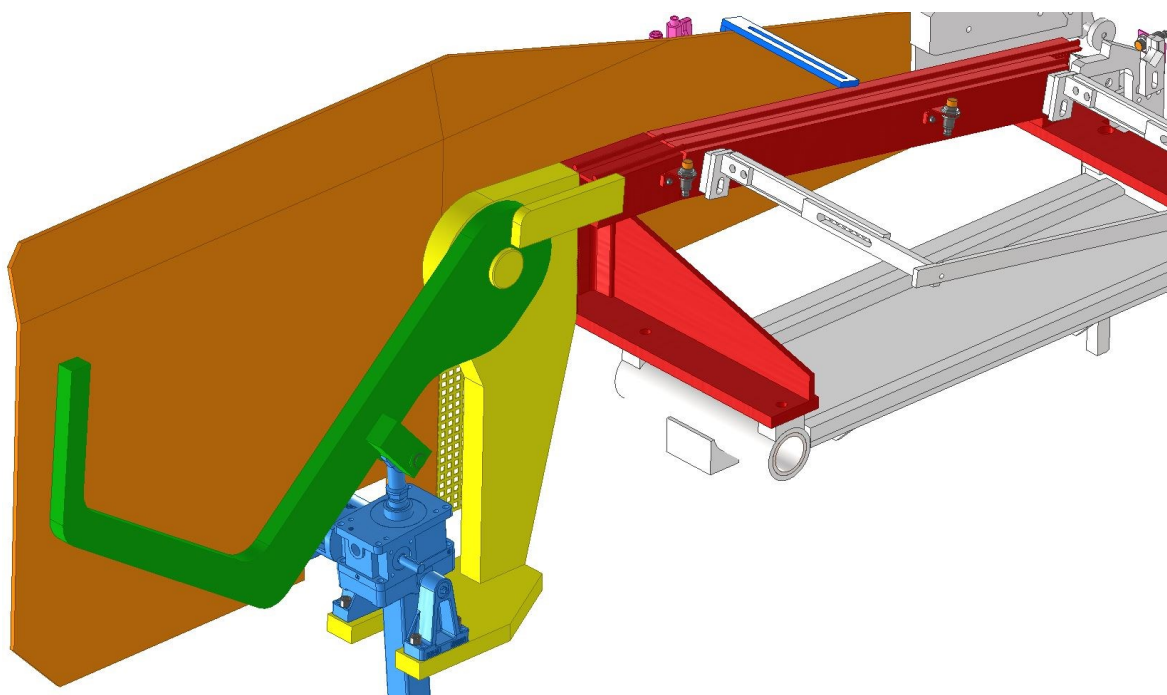


Obrázek 16 – Upravený zásobník

Návrh na úpravu současné pevné verze se týká odebrání svodu, který při postupném zvedání polotovarů není potřeba, a delšího úseku vodící dráhy s částí bočnice. Celá zadní část zásobníku je značně upravená. Odebraná bočnice se nahradí větším kusem bočnice, aby došlo k zakrytí i největšího svazku materiálu. Zvnějšku je vyztužena dvěma výztuhami, které

ji zpevňují při nakládání zásobníku. Bočnice se používá pro navádění balíku při spouštění a balík do ní naráží.

Nově je přidána nosná konstrukce pro upevnění ramene a elektropohonu, která je přivařená k bočnici a zkrácené vodící dráze viz Obrázek 17. Na nosnou konstrukci se přes čep upevní zahnuté rameno. V polovině hlavní větve ramena je přivařen úchyt, kde se pomocí čepu rameno přichytí k elektropohonu. Elektropohon je tvořen šroubovým zvedákem uloženým na otočných čepích, které jsou posazeny na nosné konstrukci. Elektromotor pohánějící šroubový zvedák je vyveden ven ze zásobníku, aby při nakládání nehrozila kolize s vozíkem.



Obrázek 17 – Upravená bočnice pohled zevnitř

Aby se mohla přidělat nosná konstrukce, byla potřeba změnit nosný rám zásobníku. Nový rám nezasahuje pod zadní část zásobníku a nově vzniklý prostor umožňuje bezproblémové přidání ramena a nosné konstrukce s elektropohonem. Upravený rám už neumožňuje nastavení výšky. Rám není součástí mého návrhu, je to jen rozměrová úprava současné verze.

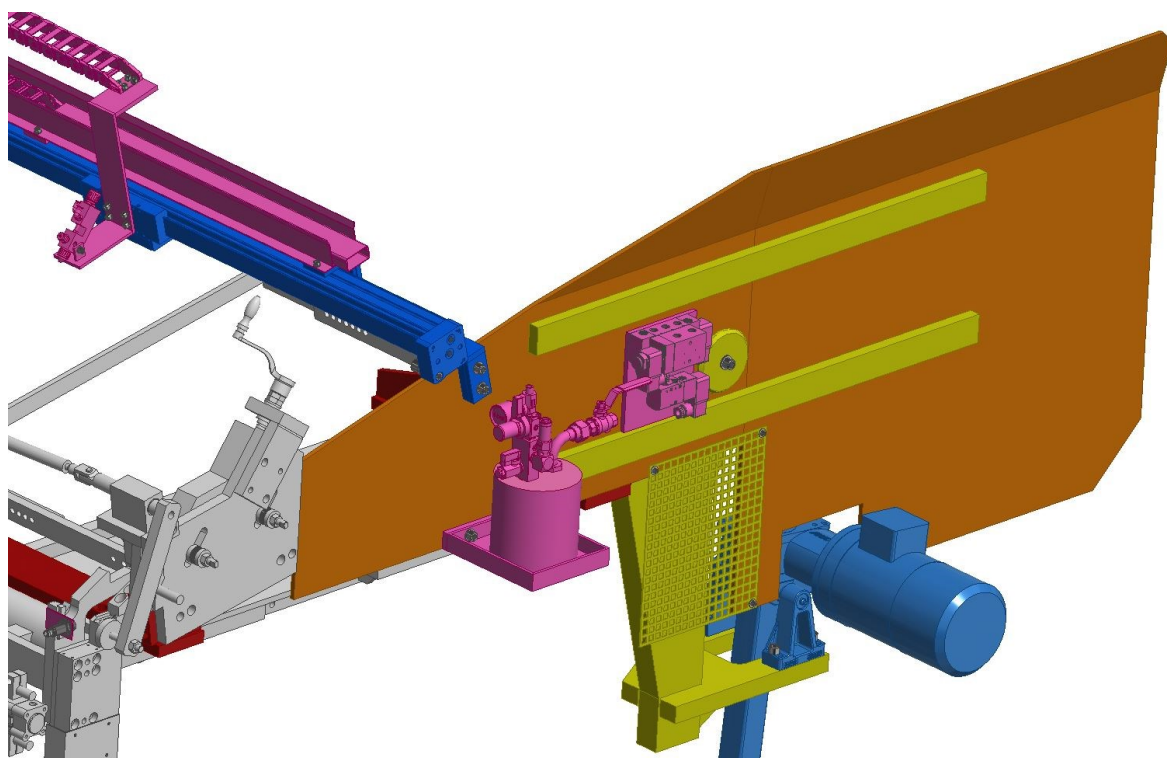
Dále jsou na jednu vodící dráhu přidány indukční senzory pro hlídání maximálního a minimálního naplnění vodící dráhy. Senzory snímají polohu polotovarů a podle toho řídí zvedání elektropohonu. Tím dojde k automatizaci zásobníku.

Na bočnicích jsou přišroubovány desky s drážkou umožňující snadné přestavení mazacího zařízení, pokud se změní délka ohýbaného materiálu a je potřeba posouvat s bočnicemi. V tomhle provedení lze přestavovat zařízení pro mazání rovných polotovarů

v rozmezí délek 1500–1900 mm. Nad zásobníkem je na deskách s drážkou nasazen pneumatický válec s mazací pistolí a součásti zajišťující dopravu médií k pistoli.

Hydraulické a pneumatické hadice vedou od pistole skrz kabelový řetěz a kabelový kryt k ventilům. Řetěz i kryt jsou uloženy v hliníkovém vodícím kanále, který umožňuje připevnění, podpěru a vedení řetězu ve vymezeném prostoru. V modelu jsem použil dráhu i pro upevnění krytu na kabely. Řetěz je víc než přes polovinu délky pístu, aby pistole bezproblémově dosáhla i na druhý konec pístu.

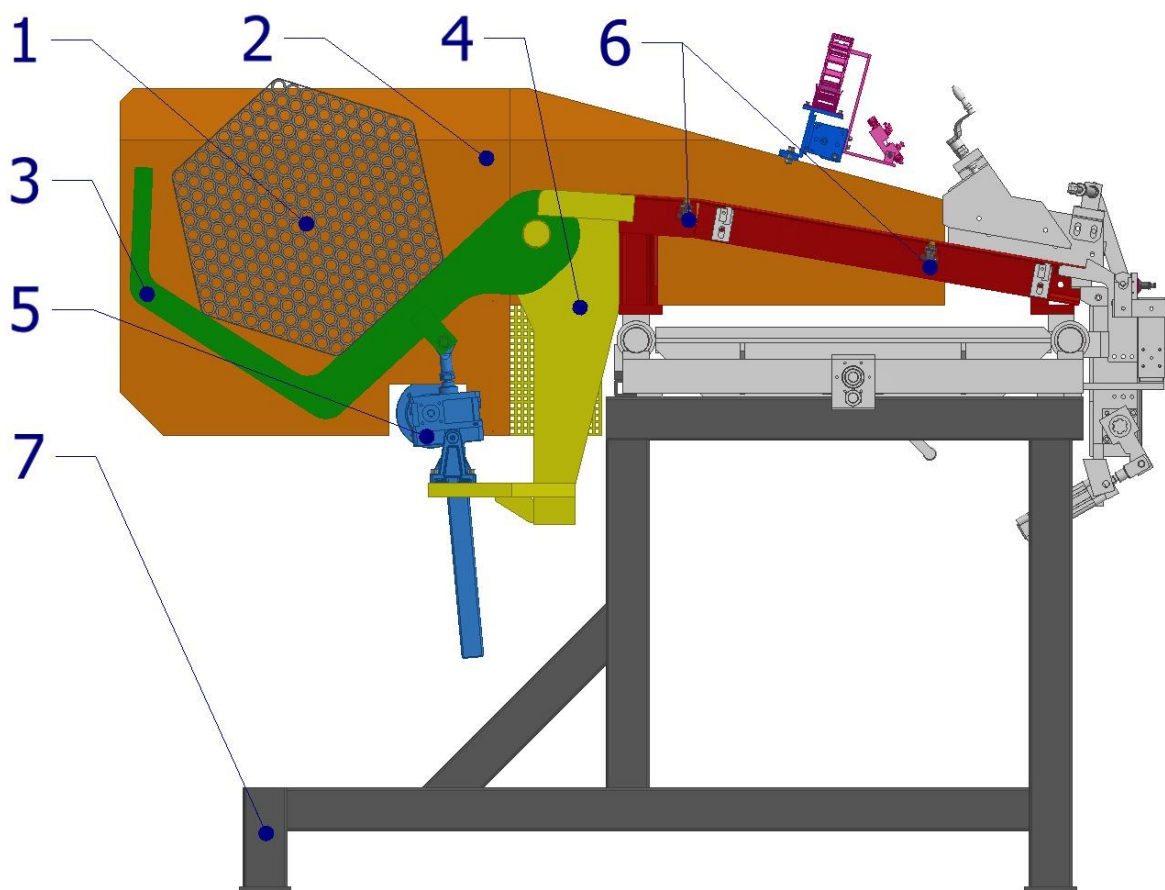
K pravé bočnici je dále přidělaná olejová nádrž a ventily pro rozvod médií pro mazání viz Obrázek 18. Tlaková olejová nádrž udržuje potřebný tlak v obvodu, aby mazací pistole fungovala správně. Ventily zajišťují rozvod vzduchu a maziva k pistoli a rozvod vzduchu k válci. Na odebíracím zařízení je přidán senzor pro počítání odebíraných trubek nebo tyčí a s tím je spojeno řízení mazacího cyklu.



Obrázek 18 – Upravená bočnice pohled zvnějšku

Zvedací zařízení

Na Obrázku 19 je vidět rozdíl vzhledem k pevnému zásobníku, kdy se materiál (1), při posazení na zahnuté zvedací rameno (3), celý schová za upravenou bočnici (2). Zvedací rameno je otočně uloženo na čepu, který je pevně spojen s nosnou konstrukcí (4). Zvedání ramena je zajištěno pomocí elektropohonu (5) přišroubovanému k nosné konstrukci. Podávání materiálu zvedáním ramena je řízeno indukčními senzory (6) určujícími maximální a minimální naplnění. Zásobník je posazen na upraveném nosném rámu (7).

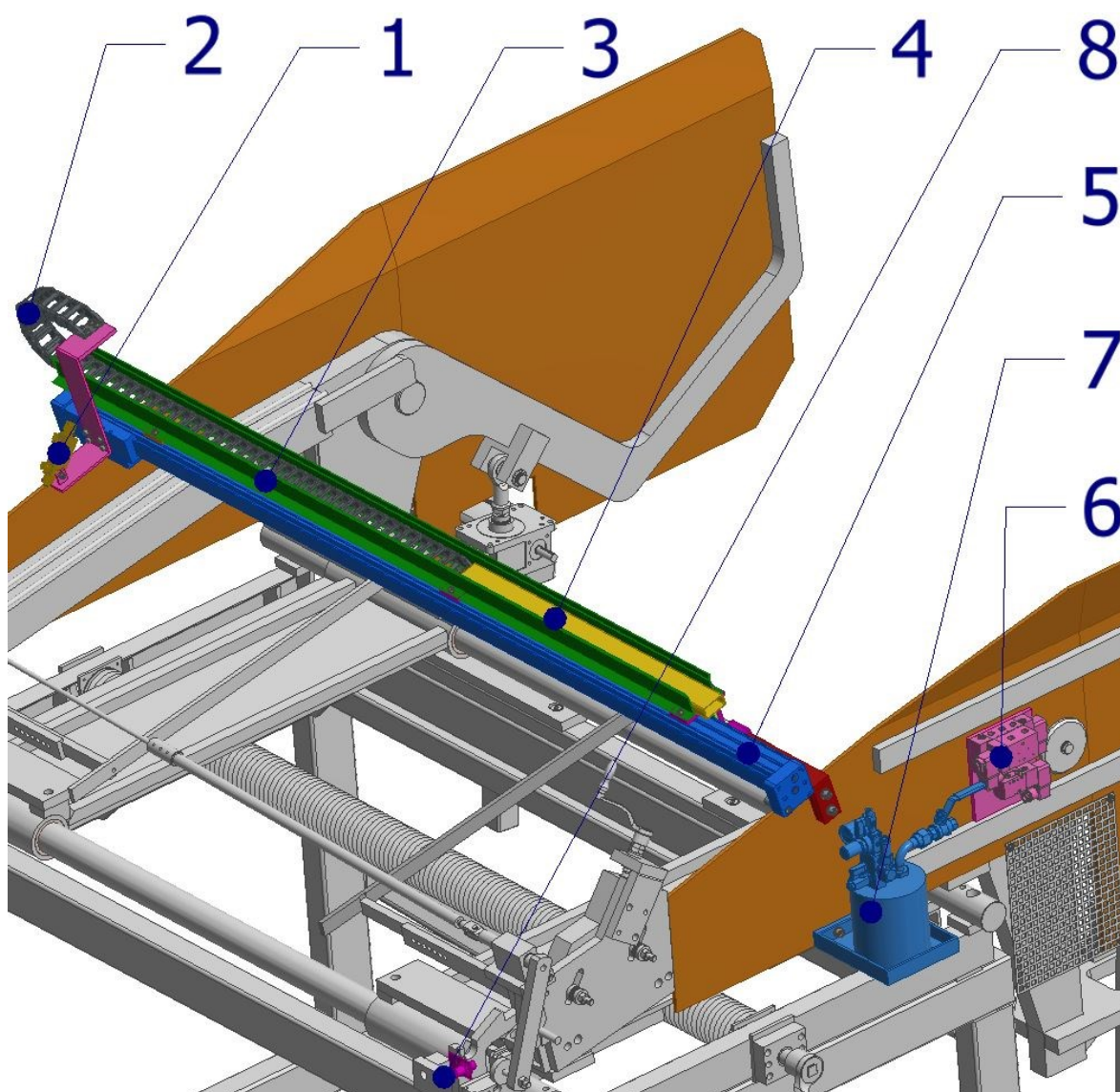


Obrázek 19 – Části zvedacího zařízení

*1-Svazek materiálu; 2-Upravená bočnice; 3-Zvedací rameno; 4-Nosná konstrukce;
5-Elektropohon; 6-Senzory pro řízení plnění; 7-Nosný rám zásobníku*

Mazací zařízení

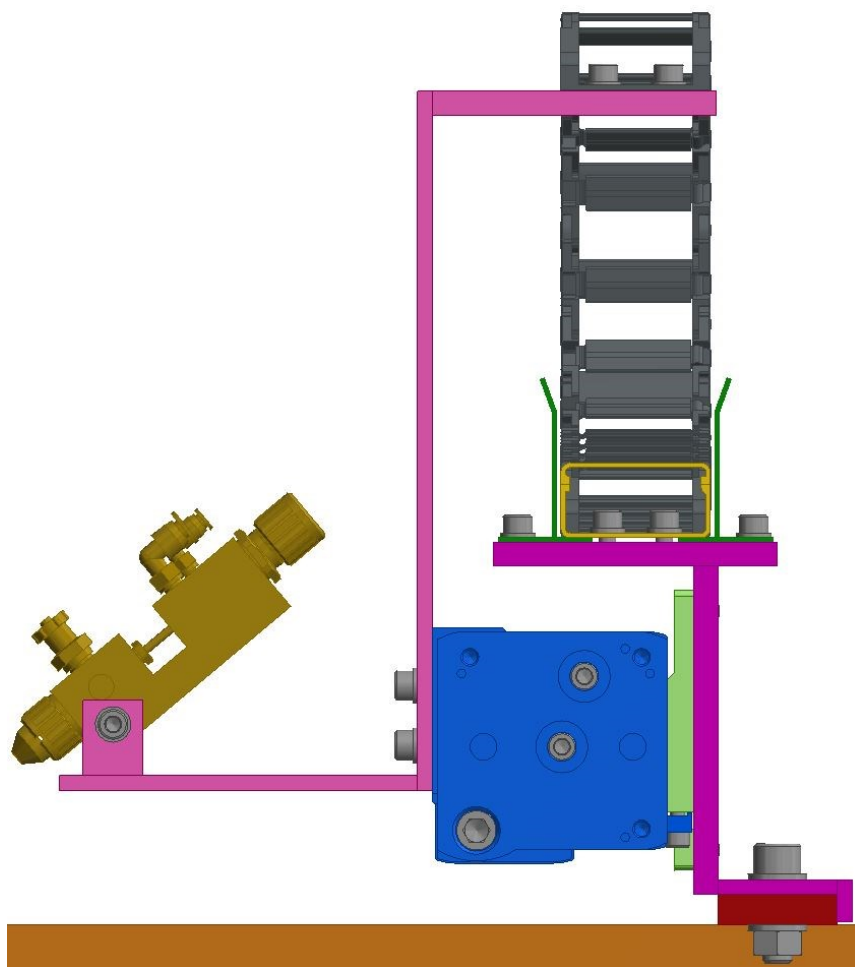
Obrázku 20 ukazuje jednotlivé části mazacího zařízení. Mazání se provádí pomocí mazací pistole (1) připevněné k pneumatickému bezpístnicovému válci (5), který umožňuje pohyb pistole přes celou šířku zásobníku. Pneumatické a hydraulické kabely jsou od pistole vedeny kabelovým řetězem (2). Řetěz se pohybuje ve vodícím hliníkovém kanále (3). Kabely dále vedou v kabelovém krytu (4) a pokračují k ventilům médií (6). Ventily jsou propojeny s tlakovou olejovou nádrží (7). Mazací cyklus je řízen signálem, který je vyslán senzorem (8) na odebíracím zařízení.



Obrázek 20 – Části mazacího zařízení

*1-Mazací pistole; 2-Kabelový řetěz; 3-Vodící kanál; 4-Kryt pro kabely;
5-Bezpístnicový válec; 6-Hydraulické a pneumatické ventily; 7-Olejová nádrž;
8-Senzor pro řízení mazání*

Boční pohled na mazací zařízení je zobrazen na Obrázku 21, ze kterého jde lépe vidět propojení jednotlivých částí zařízení. Celé mazací zařízení nesou dva upevňovací svařence. K horní desce svařence je přišroubovaná vodící dráha pro řetěz. Na svislou desku svařence je přišroubované upevnění pro profilovou trubku válce.



Obrázek 21 – Upevnění mazacího zařízení

4.2 Zvolené nakupované díly

Elektropohon

Volba sestavy elektropohonu se odvíjí od navrhnutého zvedacího šroubu. Šroub jsem navrhl na váhu balíku navýšenou o přetížení a bezpečnost. Proto jsem zvolil šroub s nosností 25 kN. Zbylé části elektropohonu skládající se z otočných čepů, spojky, příruby, připojovacího oka a motoru jsou typizovány pro jednotlivé velikosti zvedacích šroubů, takže to podstatně ulehčilo volbu. Celá sestava elektropohonu je na Obrázku 22.



Obrázek 22 – Elektropohon ZIMM [2]

Senzory

Senzory pro snímání polohy polotovarů pro řízení cyklů plnění a mazání jsem volil od firmy ifm electronic. V práci jsem používal indukční senzory mezi jejich výhody patří bezkontaktnost, odolnost proti vibracím a olejům. Nejvhodnější senzor je typové řady IGS2, který má snímací vzdálenost až 12 mm, viz Obrázek 23. Senzor jsem na vodící dráhu připevnil pomocí upevňovacího úhelníku.



Obrázek 23 – Indukční senzor a upevňovací úhelník ifm [3]

Mazání

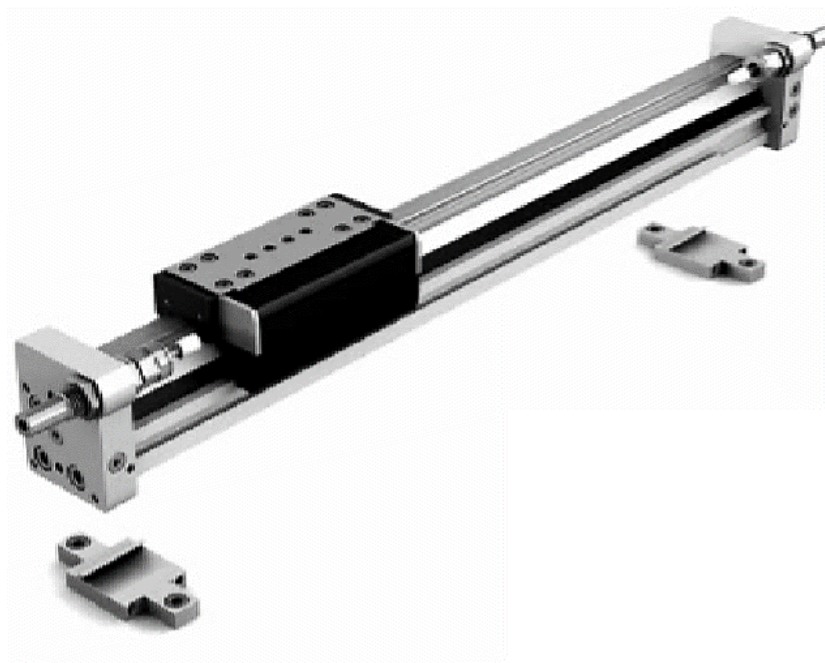
Mazání je zajištěno pomocí automatické stříkací pistole Mikro 3, která bude mazat pomocí rozprašování stlačeným vzduchem. Mazivo je do pistole přiváděno pod tlakem. Tlak se řídí v tlakové olejové nádrži. Vhodná velikost nádrže je mezi 2 a 5 litry. V modelu je použita nádrž o objemu 2 litry. Zvolená pistole a nádrž jsou na Obrázku 24.



Obrázek 24 – Mazací pistole a olejová nádrž Krautzberger [4]

Pneumatika

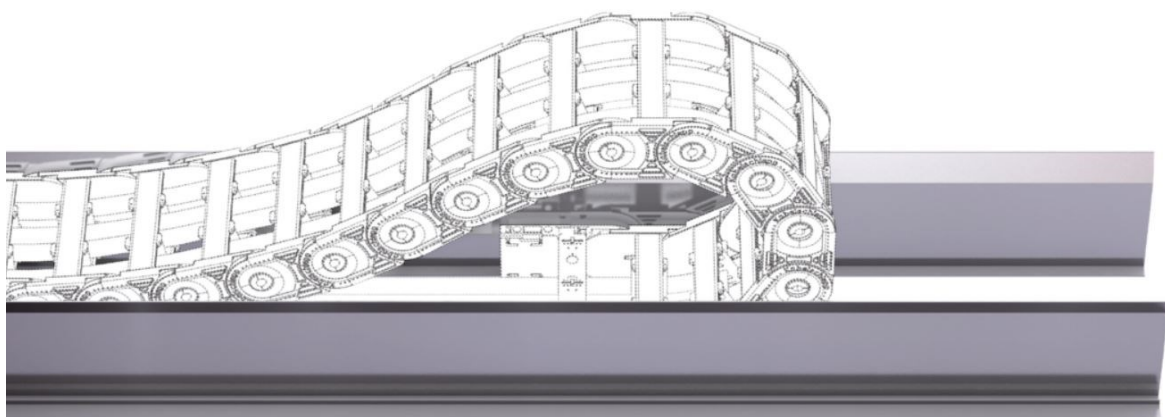
Pro zajištění pohybu mazací pistole nad bočnicemi jsem použil bezpístnicový pneumatický válec s kluzným vedením DGC-GF od společnosti Festo. Byla potřeba zajistit přejetí nad celým zásobníkem, proto má válec zdvih 1800 mm. Válec je uchycen pomocí dvou upevnění za profil MUC, viz Obrázek 25. Pohyb pístu a doprava maziva jsou řízeny ventily.



Obrázek 25 – Pneumatický válec s upevněním Festo [5]

Doprava médií

S pohybující se mazací pistolí je potřeba pohybovat i s hadicemi, které přivádí vzduch a olej. Nejlepší možné řešení je použití kabelového řetězu. Hlavní výchozí rozměry jsou vnitřní prostor řetězu a délka. Zvolil jsem řetěz QuickTrax QT0320, který má vnitřní prostor 20x38 mm, o délce 1400 mm. Řetěz se pohybuje v hliníkovém vodícím kanále, viz Obrázek 26.

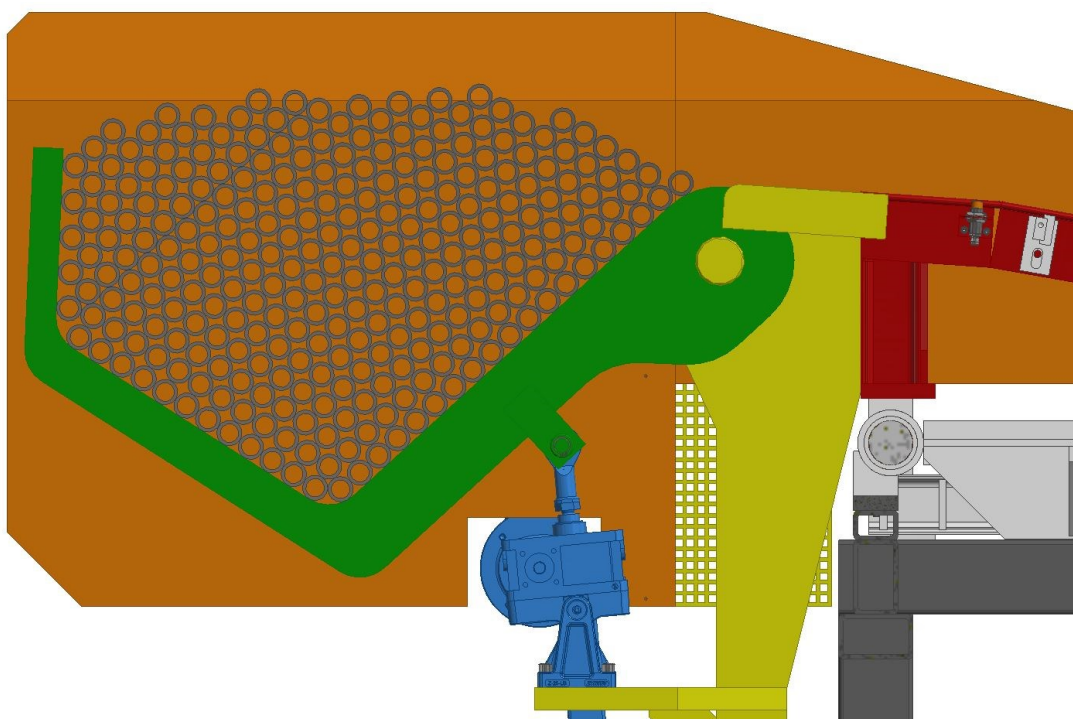


Obrázek 26 – Kabelový řetěz ve vodícím kanálu KabelSchlepp [6]

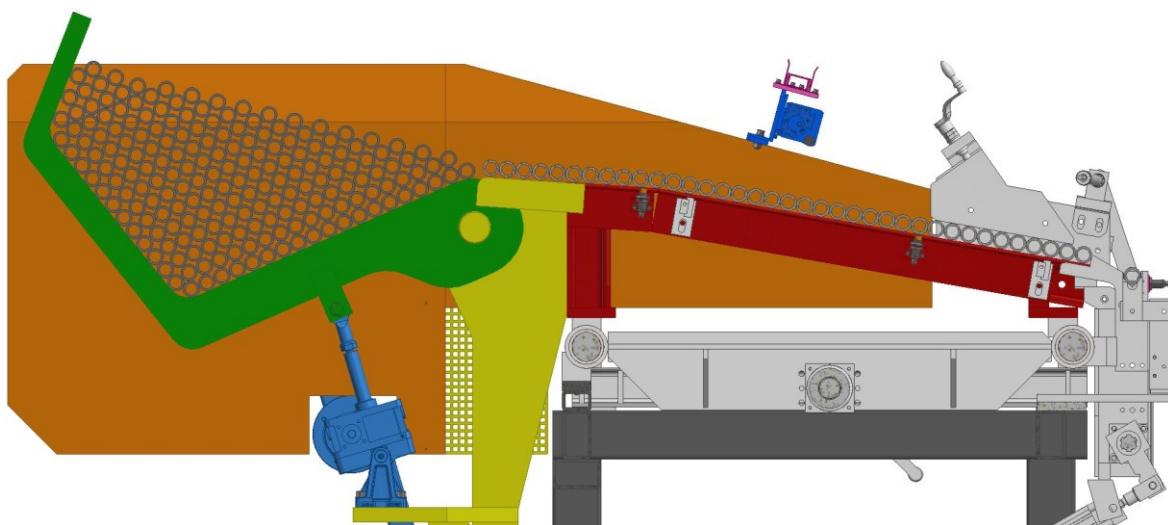
4.3 Popis funkce

Zvedací zařízení

Po naplnění zásobníku a odstřihnutí pásů se materiál rozpustí a zaplní celý prostor ramena, viz Obrázek 27. Polotovary nejdříve klesnou dolů a až poté se rozjedou do stran, takže by nemělo dojít k přepadení materiálu přes rameno ven ze zásobníku. Obsluha při prvním plnění nadzvedává rameno manuálním řízením. Na vodící dráze bude více materiálu, než kolik by určil senzor, viz Obrázek 28.

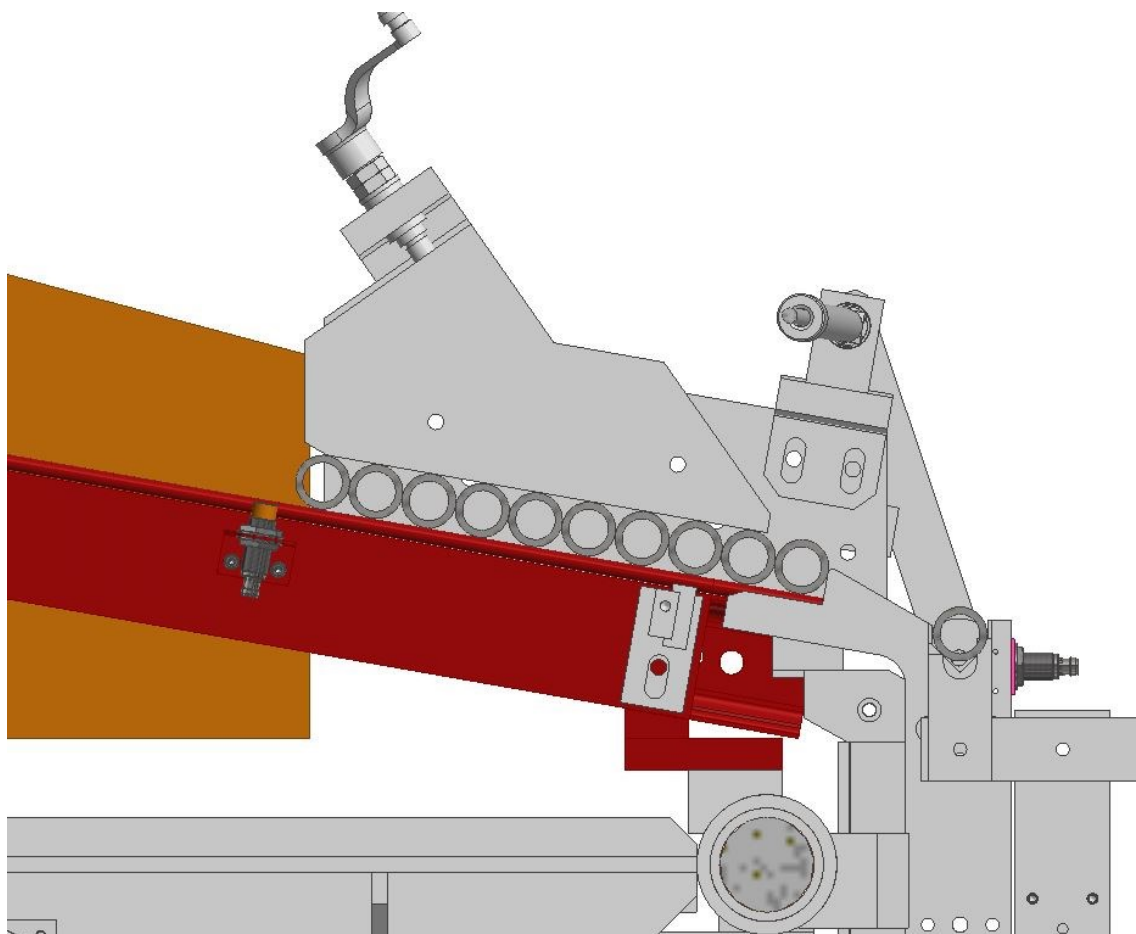


Obrázek 27 – Naplněný zásobník

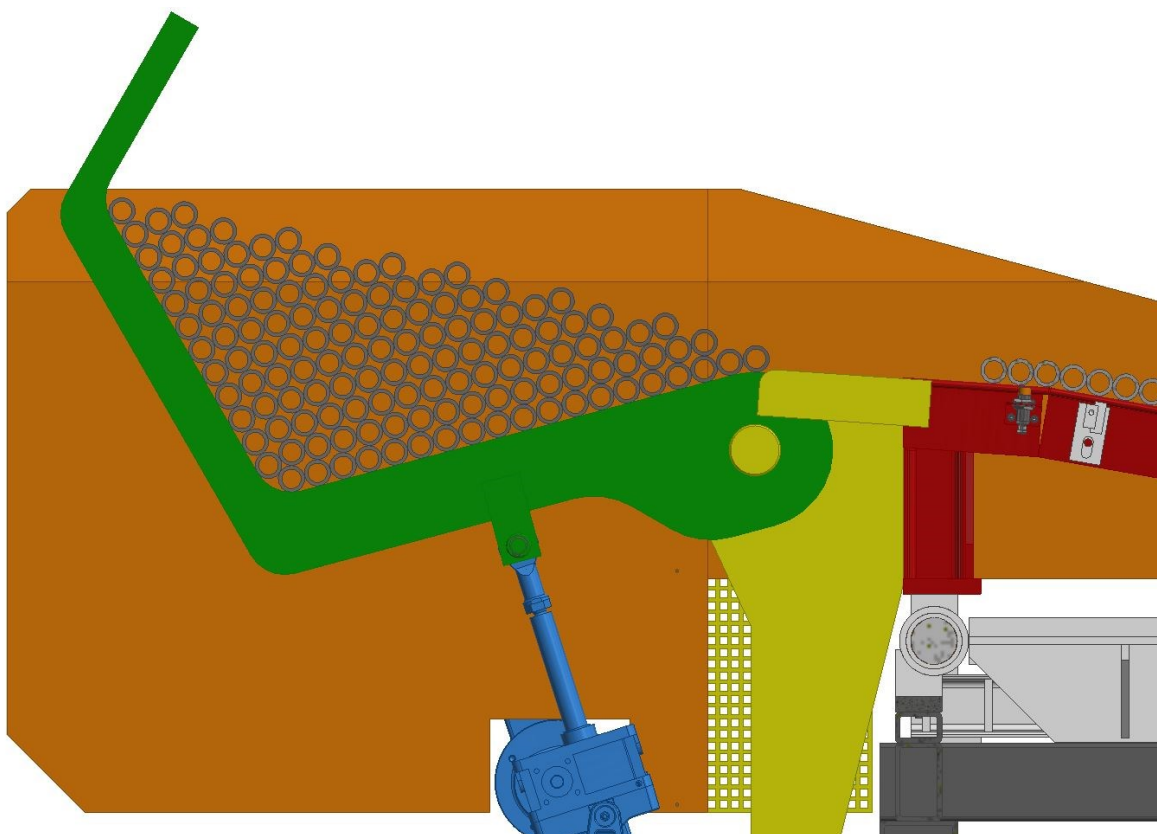


Obrázek 28 – Manuální naplnění dráhy

Při klesnutí počtu trubek nebo tyčí pod senzor označující minimální naplnění na Obrázku 29 dojde k plynulému automatickému zvedání ramena, až materiál bude stát na hranici maximálního senzoru, viz Obrázek 30. Vzniká potřeba hlídat i maximální hranici z důvodu, aby rameno nedávkovalo další polotovary na už zařazené. Tímhle principem bude zásobník fungovat, až do úrovně blížící se plnému vysypání ramene.

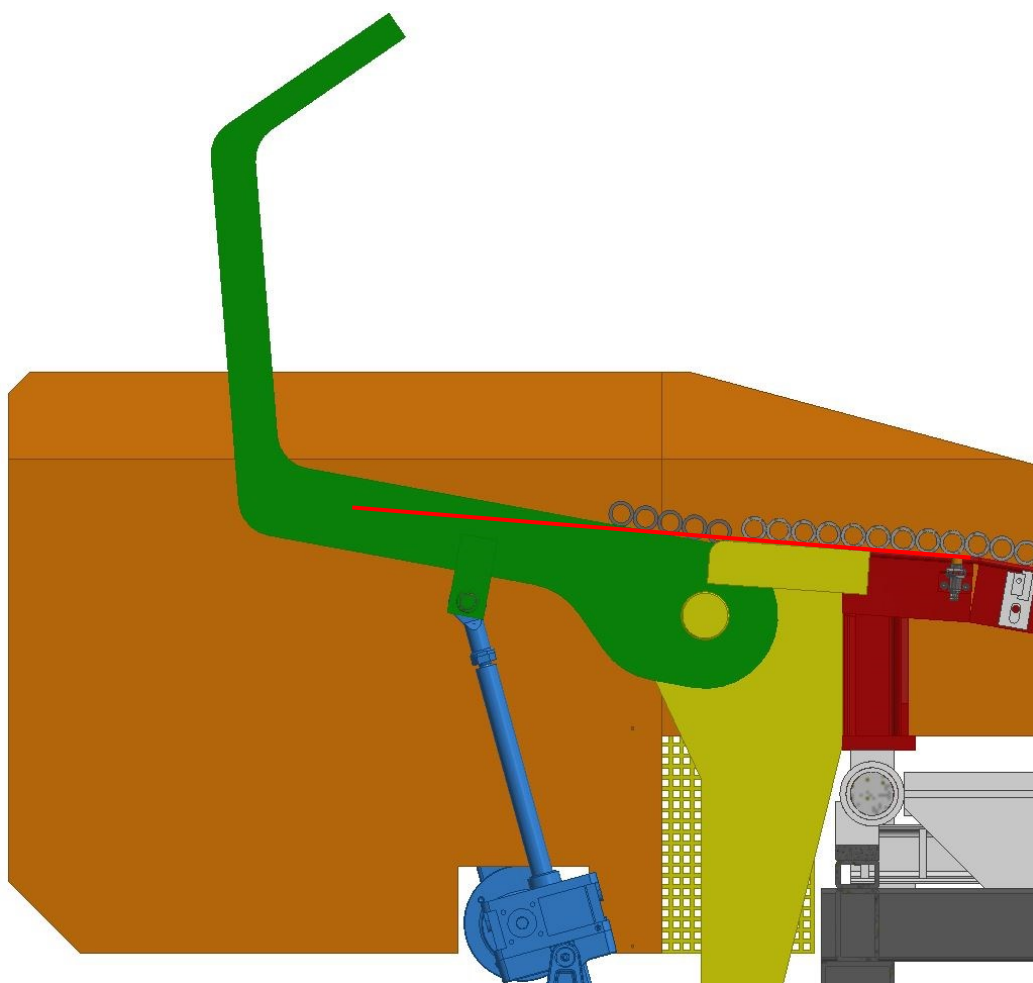


Obrázek 29 – Klesnutí polotovarů pod minimální naplnění

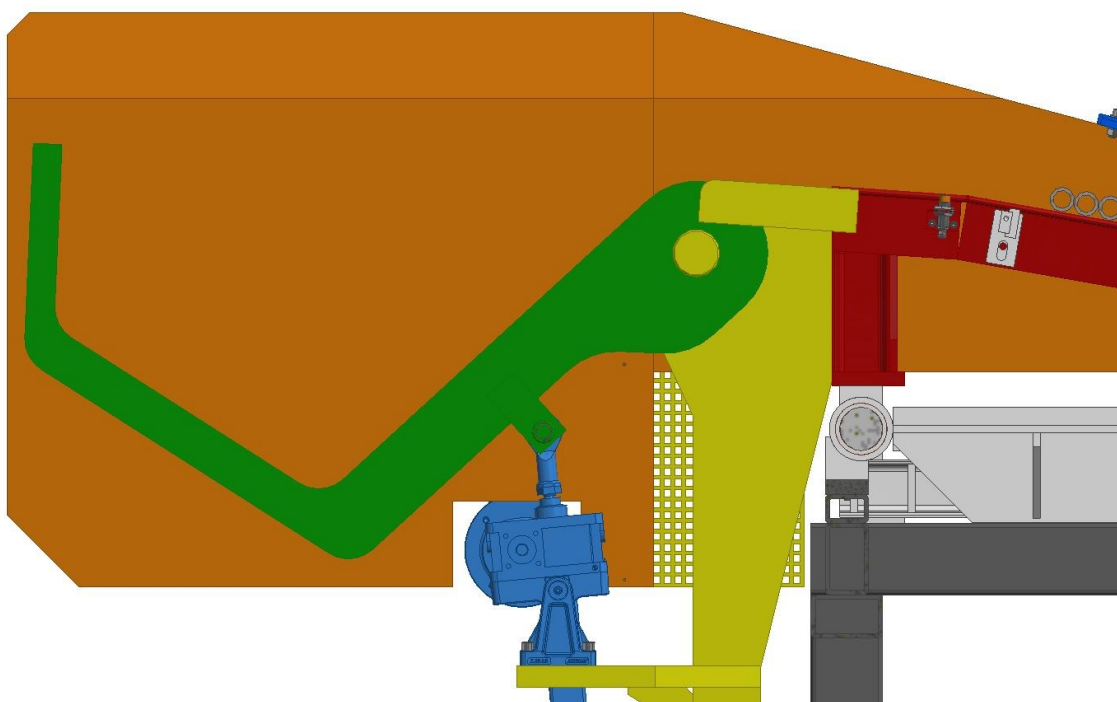


Obrázek 30 – Naplnění dráhy na maximální hodnotu

Jakmile se rameno blíží úrovni plného vysypání vyšle se obsluze signál pro naplnění zásobníku. Dělník si za tu dobu nachystá další balík pro naplnění zásobníku. Při dosažení úrovně vysypání ji rameno překročí na Obrázku 31 vyznačeno červenou čarou, aby došlo k plnému rychlému vysypání a sjede do nejnižší polohy, viz Obrázek 32. Pokud nedošlo k plnému vysypání obsluha několik zbylých rovných polotovarů nadávkuje manuálně. Následně už může dojít k naplnění zásobníku a opakování cyklu.



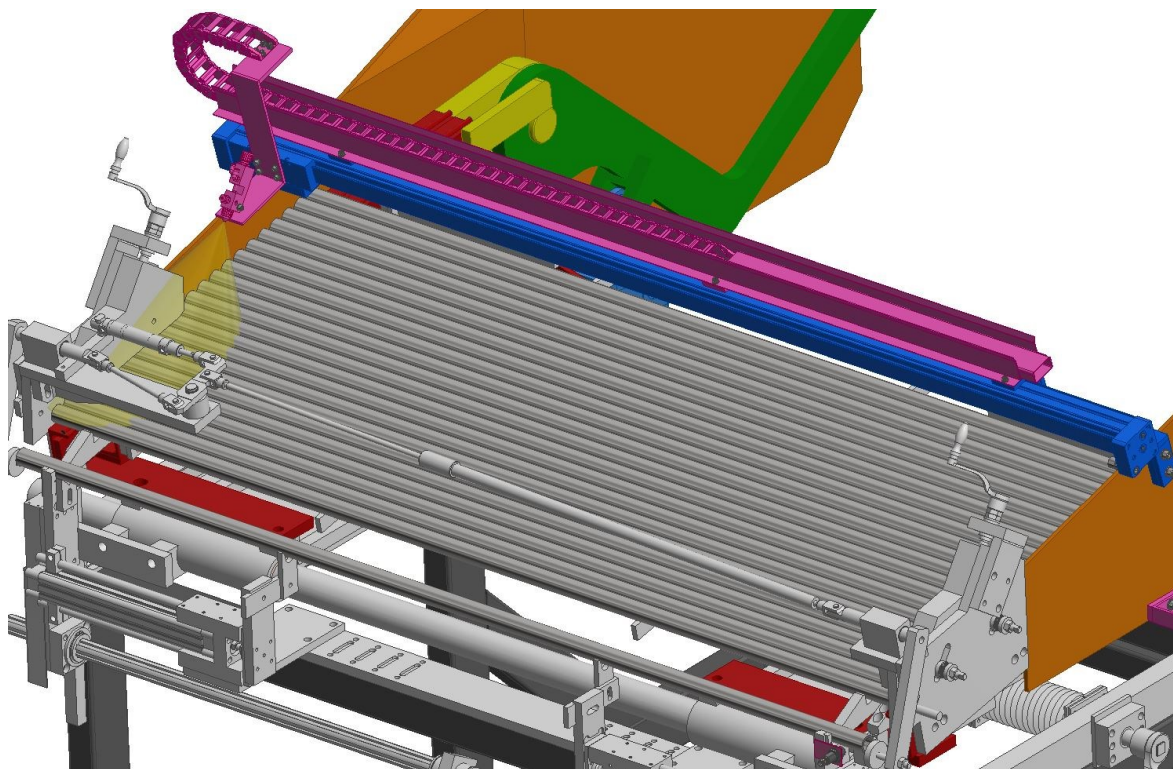
Obrázek 31 – Vyprazdňování zásobníku



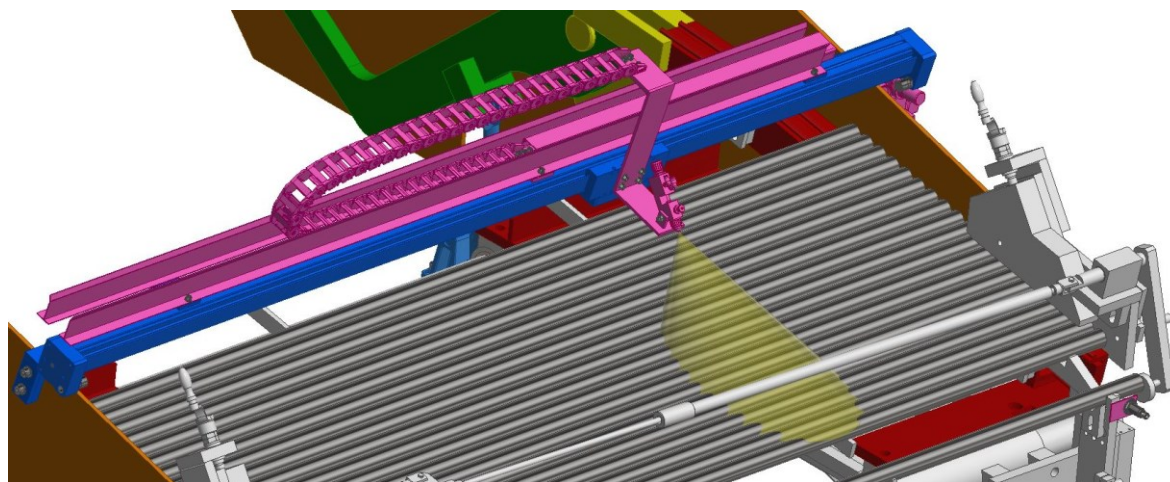
Obrázek 32 – Návrat na výchozí polohu

Mazací zařízení

Během normální funkce zásobníku dochází i k mazání materiálu. Mazání je řízeno senzorem na odebíracím zařízení, které vyšle signál k namazání po odběru určitého počtu polotovarů. Po signálu se začíná s mazáním, viz Obrázky 33 a 34. K celému namazání dojde během jednoho přjetí a poté se pistole vrátí zpět do výchozí polohy. Doba mazání by neměla přesáhnout 11 s, kdy dochází k odebírání polotovaru. Rychlost pístu je maximálně 3 m/s. Při délce pístu 1,8 m je 11 s dostatečný čas k namazání trubek nebo tyčí.



Obrázek 33 – Začátek mazání



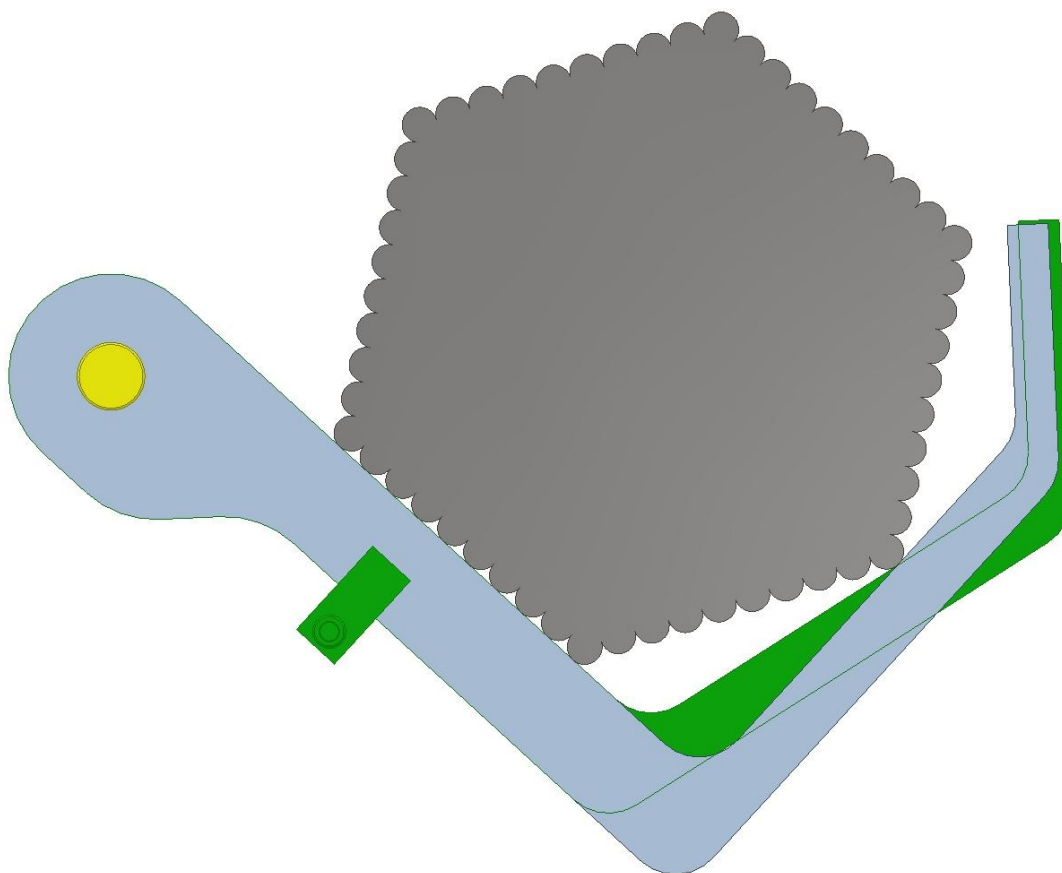
Obrázek 34 – Přejetí mazací pistole

5. Pevnostní analýza

Pevnostní analýza se zabývá především kontrolou zvedací části na zásobníku, protože zde je největší zatížení vznikající od tíhy materiálu. Analýzu jsem rozdělil do čtyř částí. Nejprve jsem kontroloval rameno na zatížení vzniklé při plnění zásobníku, když balík dosedá na rameno. Následně kontroloji, jestli vyhovuje velikost čepu pro upevnění ramena k zásobníku. Ve třetí části jsem kontroloval nosnou konstrukci na zatížení přenášené přes elektropohon. Nakonec provádím analýzu celé konstrukce a porovnávám s výsledky jednotlivých výpočtů. Počítačovou simulaci, ve které jsem používal metodu konečných prvků, jsem prováděl v programu Autodesk Nastran In-CAD, který funguje jako rozšíření pro Autodesk Inventor Professional 2020.

5.1 Kontrola zvedacího ramene

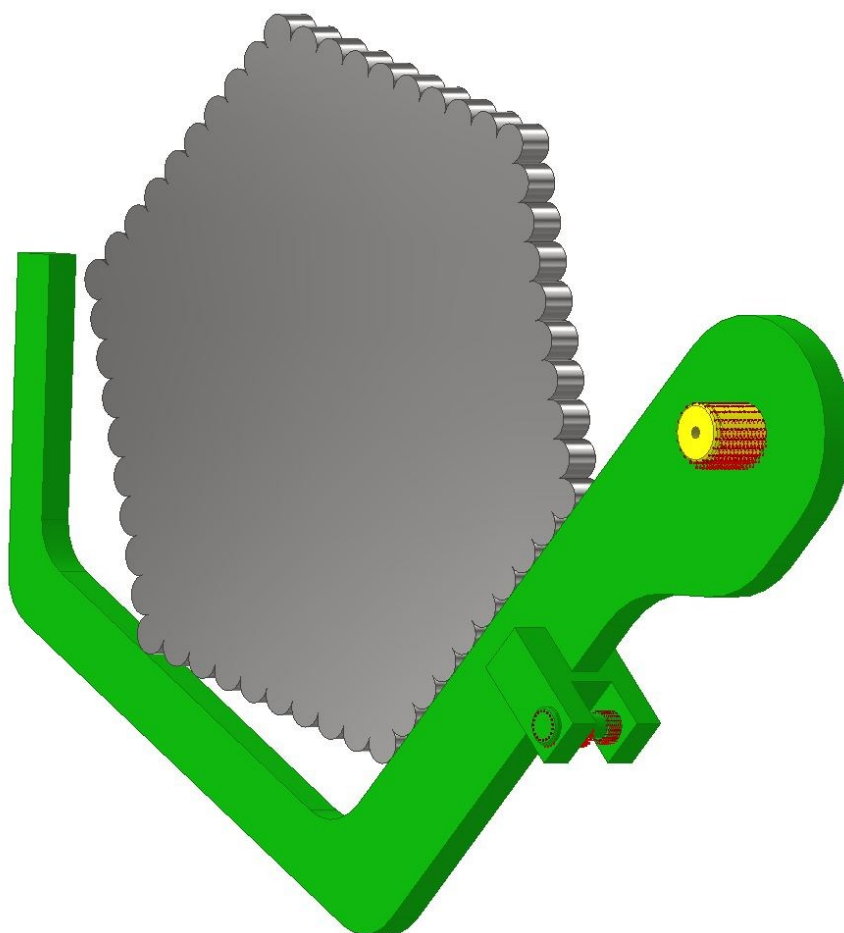
Pro analýzu jsem si vybral zátěž na rameni, která vzniká při plnění zásobníku, kdy se s vysokozdvihným vozíkem sjíždí dolů a balík dosedá na rameno. Porovnával jsem 2 verze ramen. Jedno s 90° úhlem ohybu (světle modrá) a druhé s úhlem 105° (zelená). Porovnání obou ramen je na Obrázku 35.



Obrázek 35 – Porovnání obou ramen

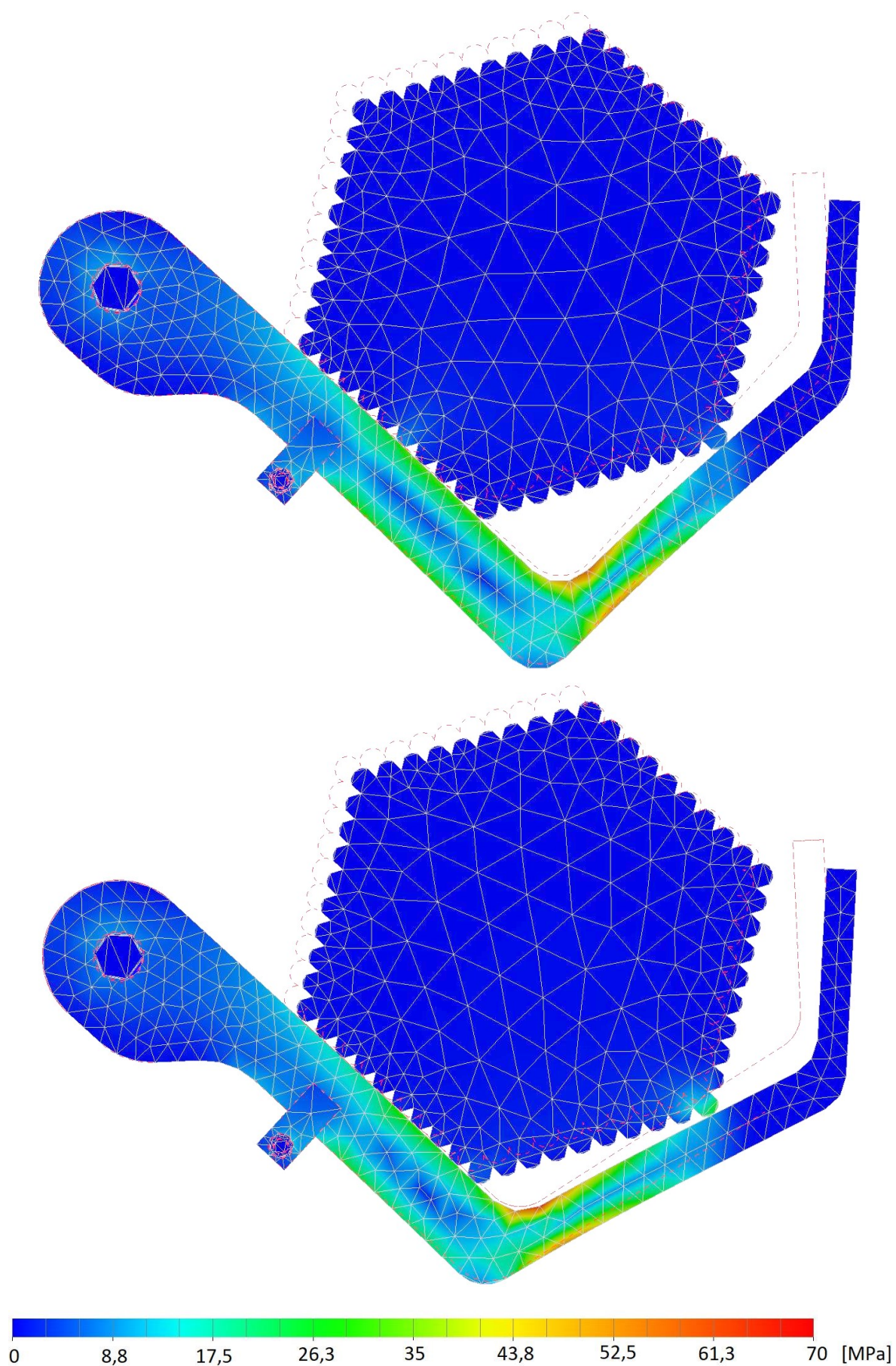
Nejtěžší balík váží 1420 kg, ale tato hmotnost se rozdělí na obě ramena. To vychází na sílu 710 kg na jedno rameno. Z důvodů vyšší bezpečnosti a přetížení vzniklého rychlostí spouštění vysokozdvížného vozíku dávám zatěžující hmotnost 900 kg. Tuto hmotnost jsem dal součásti kopírující tvar největšího balíku a celou konstrukci jsem zatížil gravitací.

Rameno je otočně uloženo na čepu, který je pevně spojen s nosnou konstrukcí. Pomocí druhého čepu je rameno spojeno s elektropohonem. K plnění zásobníku dochází, když je rameno v nejnižší poloze. Na hlavní čep a čep pro spojení s elektropohonem jsem dal pevné vazby (červeně), viz Obrázek 36. Mezi čepy a rameno jsem použil dotyk separace, protože jsou na sobě nasazeny bez vzájemného pevného spojení, aby mohlo docházet k otáčení ramene na čepch. Balík je s ramenem spojený dotykem separace, protože je na rameni jen položen.



Obrázek 36 – Umístění pevných vazeb

Balík svou hmotností ohýbá rameno a největší napětí vychází v obou případech v místě ohybu, kde zároveň rameno přechází z tloušťky 100 mm na 60 mm. U 90° ramene je hodnota napětí 63,8 MPa a u 105° ramene 69,3 MPa, viz Obrázek 35. Obě analýzy mají stejnou stupnici pro lepší porovnání výsledků. Deformace na obrázku je 40x zvětšená vzhledem k původní čárkované poloze. Skutečná hodnota posunutí na konci ramene je 1,5 mm.



Obrázek 37 – Průběh napětí na ramenech

U většího otevření ramene vzniká větší napětí. Tato hodnota je menší než mez úměrnosti. Hodnota je v oblasti lineární závislosti zatížení na deformaci, se kterou software počítá. Výsledku proto můžeme důvěřovat. Hodnota je i menší než mez pružnosti, takže jsme v oblasti pružné deformace, a nenastává trvalá deformace. V práci jsem použil rameno s ohybem 105°. Napětí u varianty ramena s ohybem 105° je větší, nicméně považuji za lepší mít více prostoru do stran než pod balíkem. Při rozstřížení pásu u 90° ramene celý balík spadne z větší výšky do místa ohybu a tím by vznikalo další přetížení.

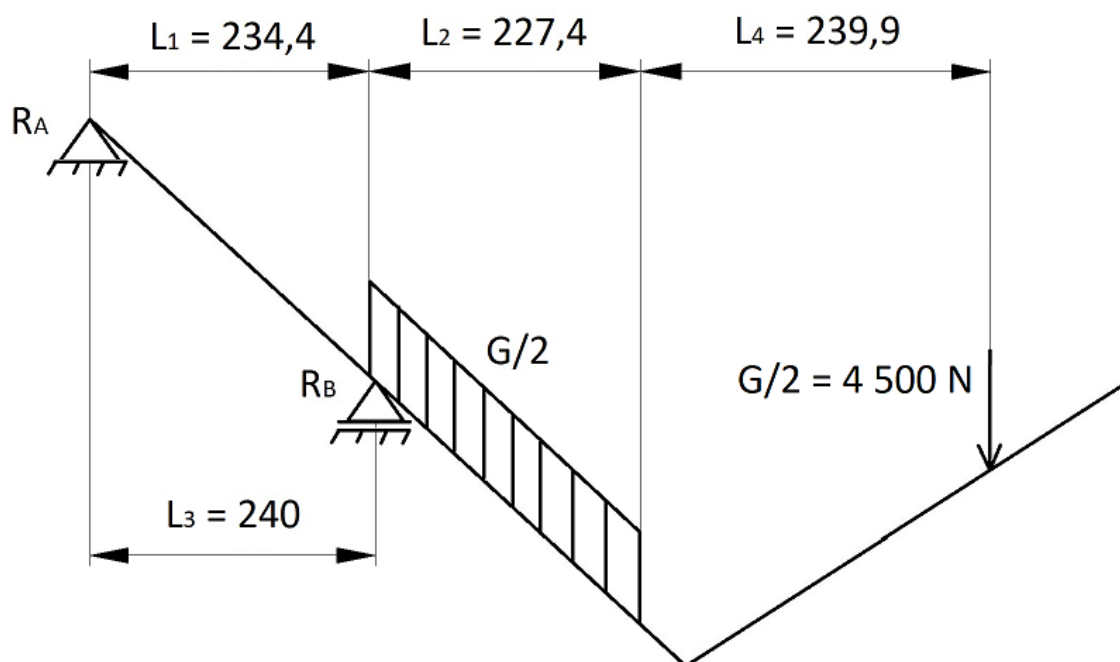
5.2 Kontrola čepu

Pro kontrolu čepu na střih a otlačení je nejprve potřeba spočítat sílu, která na čep působí v místě spojení s ramenem. Rameno si převedu na zjednodušený nosník s kloubovou vazbou v místě čepu a posuvnou v místě přichycení elektropohonu, viz Obrázek 38. Hmotnost balíku jsem rozložil na plošný styk, kde jsem dal spojitě zatížení a na bodový styk, kde jsem dal sílu. Spojité zatížení i samotná síla jsou rovny polovině hmotnosti balíku. Z výpočtu dostanu reakce ve vazbách, kdy jedna je reakce v čepu a druhá reakce v elektropohonu. Pro zjednodušení výpočtu počítám se svislým působením sil od balíku. Dojde tím ke zmenšení síly v čepu a navýšení síly v elektropohonu.

Stanovení zátěže

$$G = m \cdot g = 900 \cdot 10 = 9\,000\,N \quad (1)$$

m	Hmotnost balíku působící na 1 rameno	[kg]
g	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
G	Gravitační síla balíku	[N]



Obrázek 38 – Nahrazení ramene nosníkem

Rovnice rovnováhy

$$X: 0 \quad (2)$$

$$Y: R_A - \frac{G}{2} + R_B - \frac{G}{2} = 0 \quad (3)$$

$$M: -\frac{G}{2} \cdot \left(L_1 + \frac{L_2}{2} \right) + R_B \cdot L_3 - \frac{G}{2} \cdot (L_1 + L_2 + L_4) \quad (4)$$

R_A Reakce v čepu [N]

R_B Reakce v elektropohonu [N]

$G/2$ Polovina gravitační síly balíku [N]

L_1 Vzdálenost mezi čepem a spojitým zatížením [mm]

L_2 Délka spojitého zatížení [mm]

L_3 Rozestup mezi čepem a přichycením elektropohonu [mm]

L_4 Vzdálenost samostatné síly od spojitého zatížení [mm]

Výpočet reakce v elektropohonu

$$-4500 \cdot \left(234,4 + \frac{227,4}{2}\right) + R_B \cdot 240 - 4500 \cdot (234,4 + 227,4 + 239,9) = 0$$

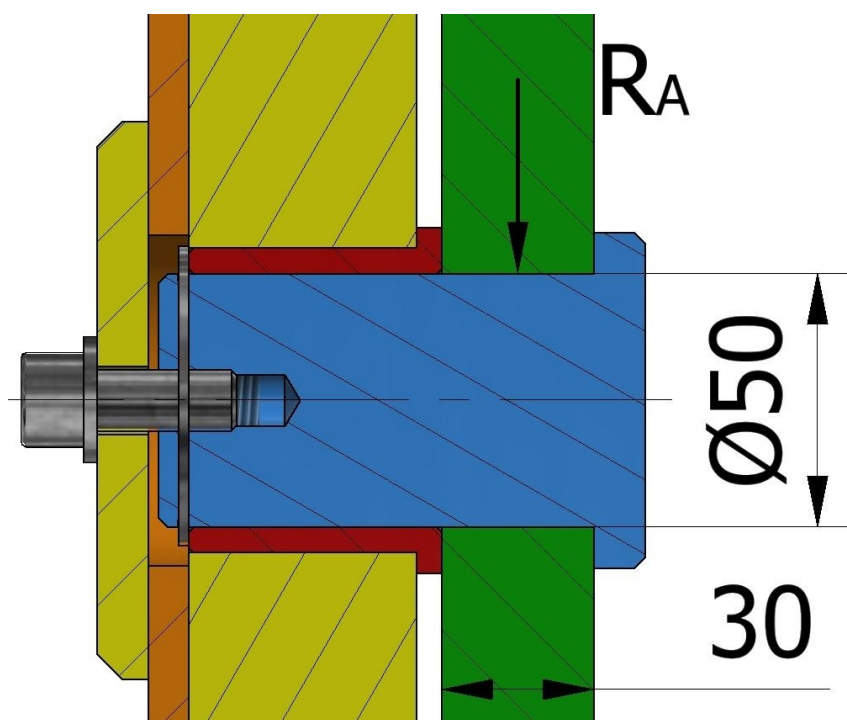
$$R_B = \frac{4500 \cdot \left(234,4 + \frac{227,4}{2}\right) + 4500 \cdot (234,4 + 227,4 + 239,9)}{240} = 19\,684\,N$$

Výpočet reakce v čepu

$$R_A - 4500 + 19684 - 4500 = 0$$

$$R_A = 4500 - 19684 + 4500 = -10\,684\,N$$

Stanovení průřezů



Obrázek 39 – Čepové spojení

$$S_S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1\,963,5\,mm^2 \quad (5)$$

$$S_P = s \cdot d = 50 \cdot 30 = 1\,500\,mm^2 \quad (6)$$

S_S Stříhaný průřez [mm²]

S_P Otláčovaný průřez [mm²]

π Ludolfovo číslo [-]

d	Průměr čepu	[mm]
s	Šířka čepu	[mm]

Napětí ve střihu

$$\tau_S = \frac{R_A}{S_S} = \frac{10684}{1963,5} = 5,4 \text{ MPa} \quad (7)$$

Volím dovolené napětí ve střihu $\tau_{SD} = 50 \text{ MPa}$. [7]

$$\tau_S \leq \tau_{SD} \rightarrow 5,4 \leq 50 \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (8)$$

τ_S	Napětí ve střihu	[MPa]
----------	------------------	-------

τ_{SD}	Dovolené napětí ve střihu	[MPa]
-------------	---------------------------	-------

Napětí v tlaku

$$p = \frac{R_A}{S_P} = \frac{10684}{1500} = 7,1 \text{ MPa} \quad (9)$$

Volím dovolené napětí v tlaku $p_D = 90 \text{ MPa}$. [7]

$$p \leq p_D \rightarrow 7,1 \leq 90 \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (10)$$

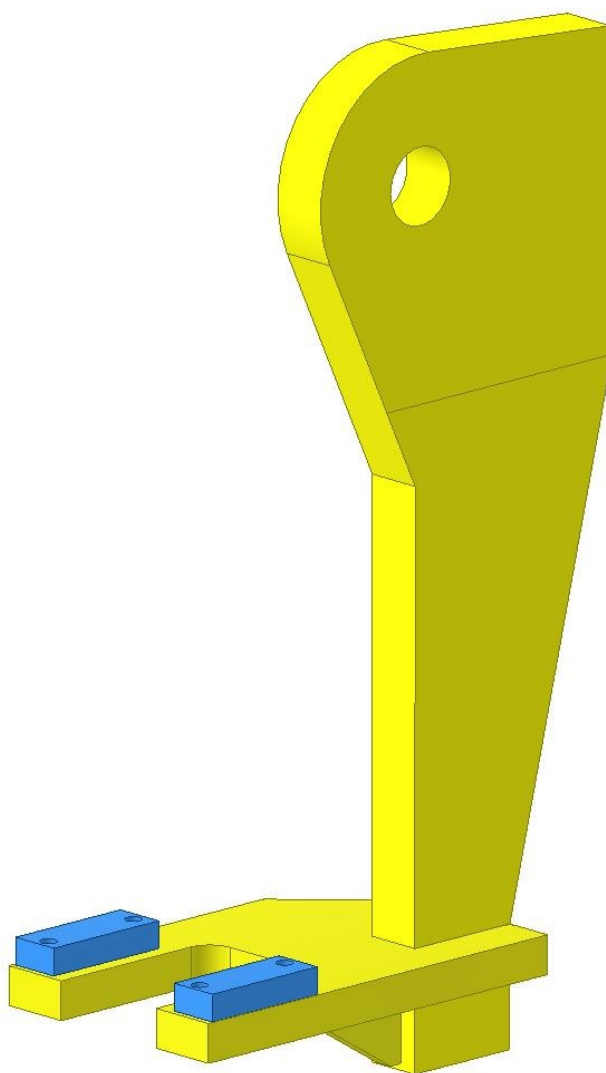
p	Napětí v tlaku	[MPa]
---	----------------	-------

p_D	Dovolené napětí v tlaku	[MPa]
-------	-------------------------	-------

Navrhnutý čep vyhovuje oběma způsobům zátěže. Hodnoty jsou i dostatečně malé, takže i při zohlednění náklonu působících sil by nedošlo k překročení dovolené hodnoty.

5.3 Kontrola nosné konstrukce

Zatížení od balíku se přenáší přes elektropohon na nosnou konstrukci. Nosná konstrukce se skládá z opory, nosné desky, žebra a otočných čepů pro upevnění elektropohonu, které jsem nahradil zjednodušenými deskami, viz Obrázek 40. U konstrukce kontroluji, jestli vydrží přenášené zatížení zejména ve spoji nosné desky s oporou. Elektropohon je v plnicí poloze skloněn o 5° . Pro zadání této síly do softwaru je potřeba přepočítat sílu R_B na její X a Y složku.



Obrázek 40 – Nosná konstrukce

Rozložení síly R_B

$$R_{BX} = R_B \cdot \sin \alpha = 19684 \cdot \sin 5 = 1\,716\, N \quad (11)$$

$$R_{BY} = R_B \cdot \cos \alpha = 19684 \cdot \cos 5 = 19\,609\, N \quad (12)$$

R_{BX} X složka síly R_B [N]

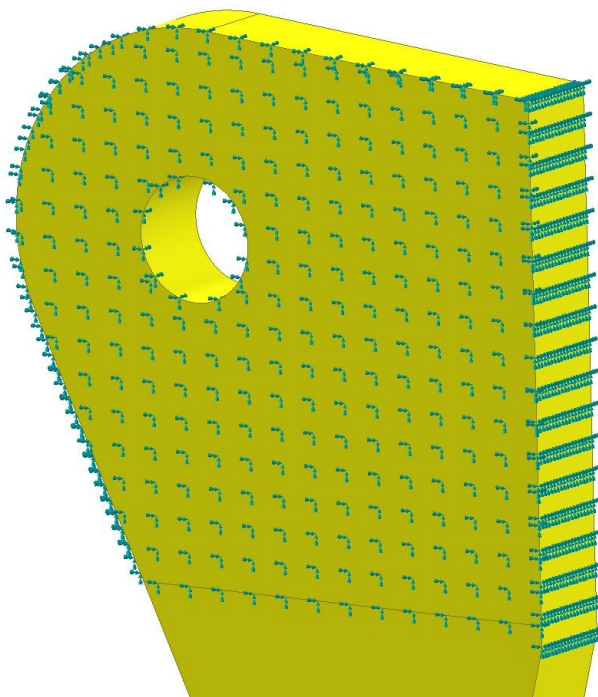
R_{BY} Y složka síly R_B [N]

α Úhel naklonění elektropohonu [°]

Pevnostní analýza

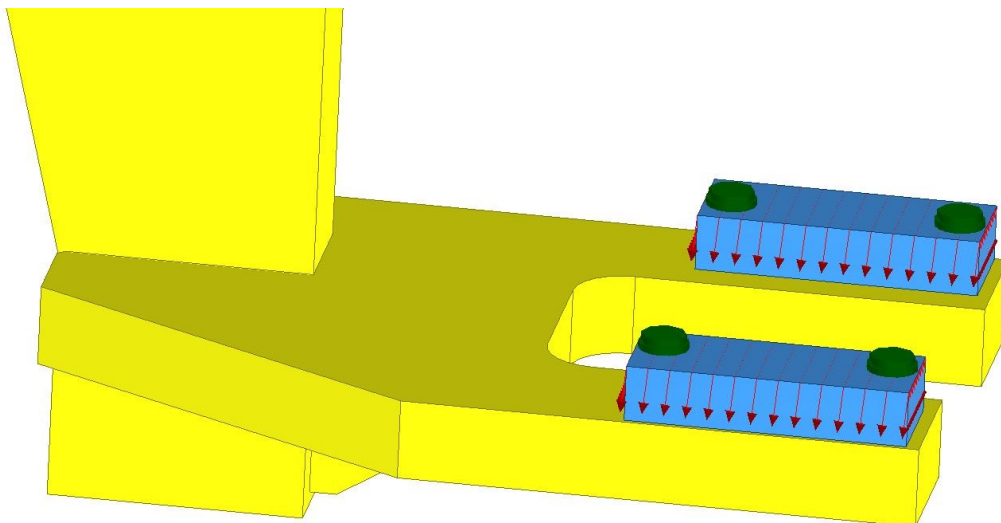
Opora je k bočnici přivařená po celém obvodu styku, proto jsem dal v místě dotyku pevnou vazbu (modrá), viz Obrázek 41. Opora je přivařena na tenkou bočnici, která by měla tendenci se při namáhání ohýbat. Použitím pevné vazby dojde k odstranění malé pružnosti,

kterou by opora měla ve spojení s bočnicí. V této analýze se soustředím převážně na nosnou desku a spodní část opory, takže lehký průhyb bočnice mohu zanedbat.



Obrázek 41 – Umístění pevných vazeb

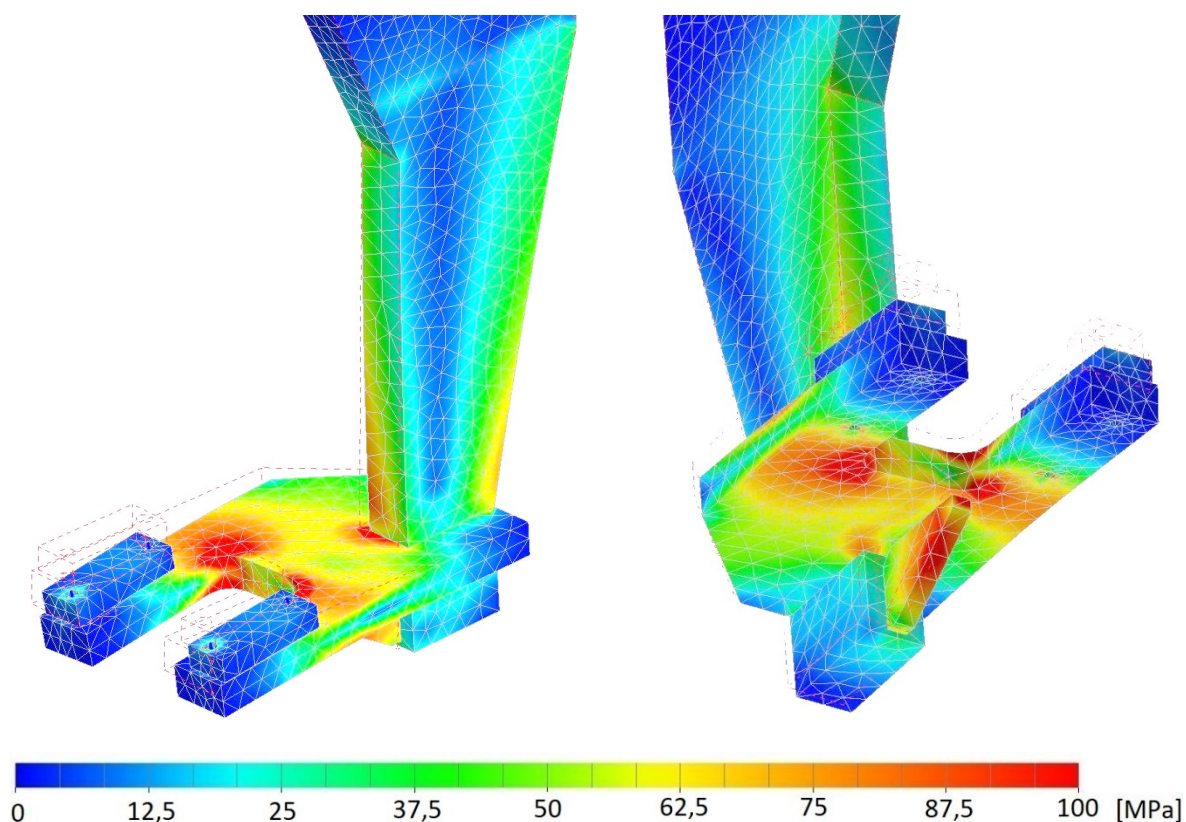
Motor je k nosné konstrukci přišroubován přes otočné čepy. Desky otočných čepů jsem zatížil spočítanými složkami síly R_B (červená), viz Obrázek 42. Desky jsem spojil s nosnou konstrukcí dotykem separace, ale vytvořil jsem mezi nimi spojení pomocí šroubů (zelená). Zbytek konstrukce je spojen pevným dotykem, protože je všechno k sobě přivařeno.



Obrázek 42 – Umístění sil a šroubového spojení

Deska, na které je elektropohon, je vysunutá více na jednu stranu, proto na oporu působí síla šikmo a vychyluje ji částečně do strany. Největší napětí na opoře je v místě blízko spoje s nosnou deskou a je kolem 90 MPa, viz Obrázek 43. Tato hodnota je vyhovující.

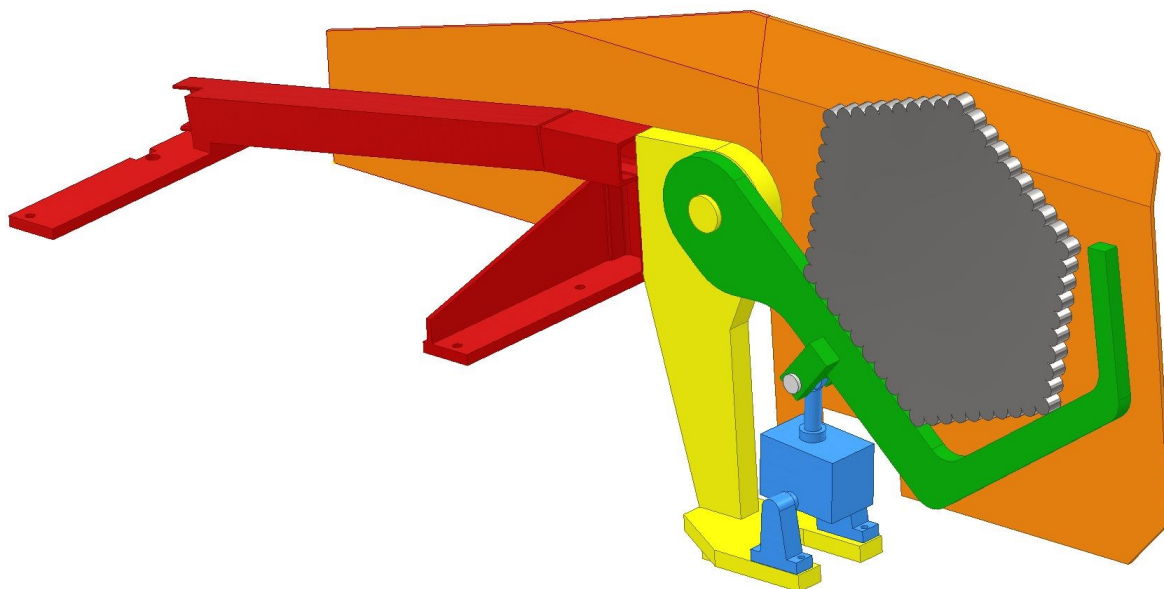
Největší celková napětí vycházejí v rohu spojení desky a opory, v zaobleních na nosné desce při přechodu na širší část desky a v žebrech. Maximální napětí se pohybuje kolem 140 MPa a největší deformace je 1,7 mm. Toto napětí vychází více než je mez úměrnosti. Výsledek se už nenachází v oblasti lineární závislosti deformace na zatížení, proto nelze hodnotě plně důvěřovat. Vzhledem k tomu, že jsem u výpočtů reakcí počítal se svislým působením sil od balíku, došlo tím k výraznému navýšení síly R_B . Desky by jinak byly zatíženy menší silou, a proto se dá očekávat snížení maximální hodnoty na vyhovující mez.



Obrázek 43 – Průběh napětí na nosné konstrukci

5.4 Celková kontrola konstrukce

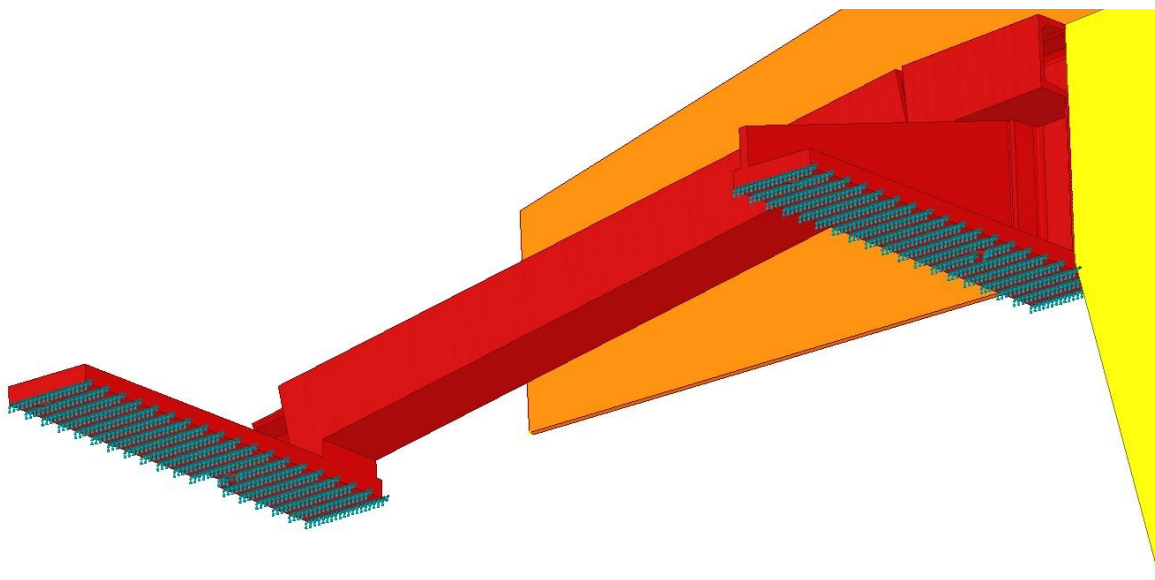
V předchozích výpočtech jsem se zaměřoval čistě na dílčí součásti zatěžované konstrukce. Zátěž působila jen na jednu část konstrukce a nebylo bráno v úvahu vyztužení bočnicí, vodící dráhou nebo elektropohonem. V této části se zaměřím na konstrukci jako celek, viz Obrázek 44, kde se zátěž rozloží mezi všechny součásti konstrukce. Elektropohon jsem nahradil zjednodušeným modelem o stejných rozměrech.



Obrázek 44 – Celá konstrukce

Dotyky jsou stejné jako v předchozích analýzách, ale navíc je přidáno pevné spojení čepu s nosnou konstrukcí a nosné konstrukce s bočnicí. Elektropohon je s otočnými čepy a s čepem na rameni spojen dotykem separace, protože se při fungování otáčí na obou čepích.

Vstupní zátěž je, stejně jako u kontroly ramena, hmotnost poloviny balíku, která je přiřazená součásti tvaru balíku. Celá konstrukce je s nosným rámem zásobníku propojená jen pomocí kotevních desek, které jsou spojeny s vodící dráhou. Zespolu kotevních desek dávám pevnou vazbu (modrá), viz Obrázek 45.



Obrázek 45 – Umístění pevných vazeb

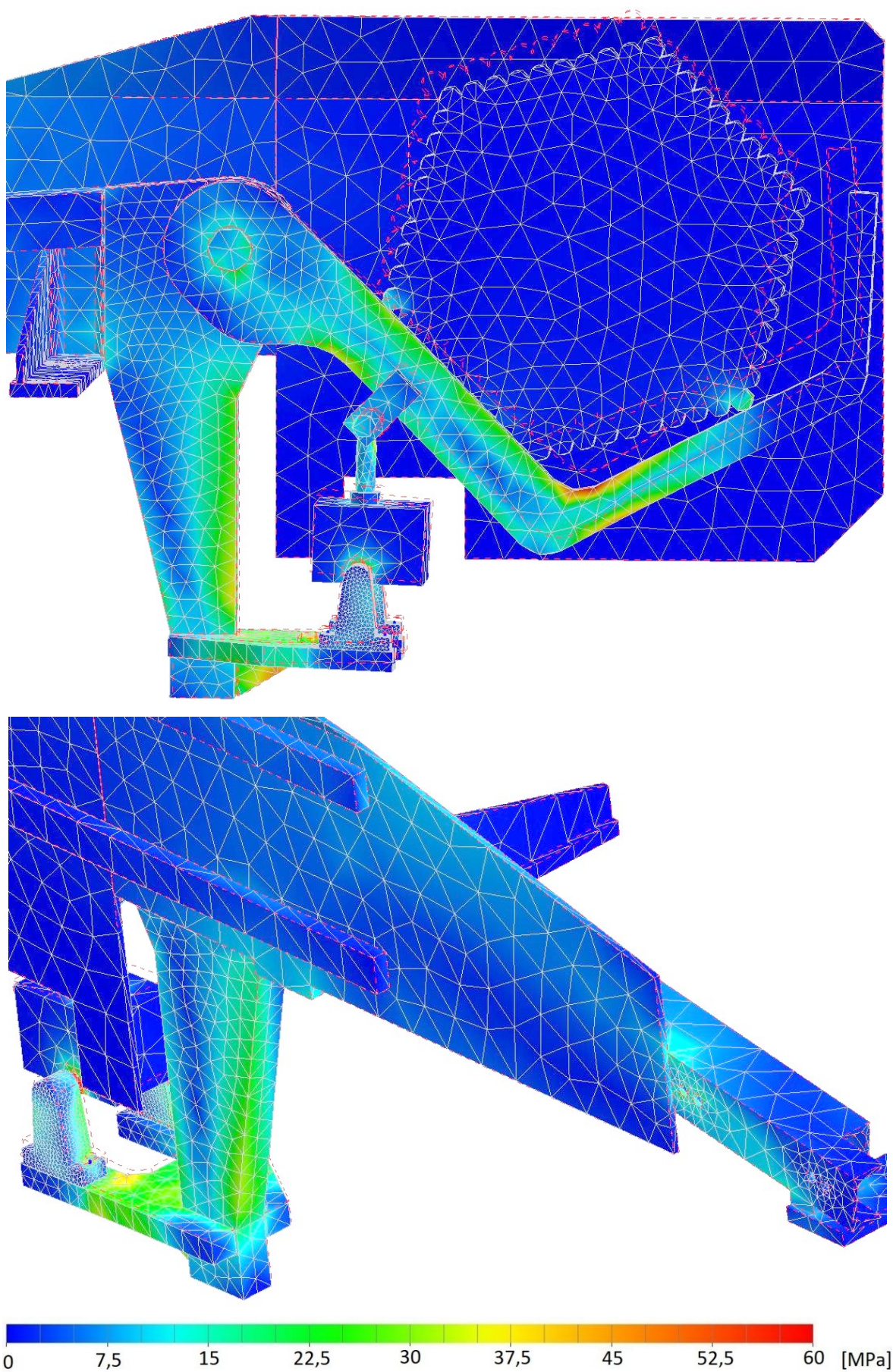
Z výsledku jde vidět výrazné snížení napětí na nosné desce a žebro, které je teď přibližně 50 MPa, viz Obrázek 46. Deformace desky se snížila z 1,7 mm na 0,7 mm. Ke snížení napětí došlo i na rameni a opoře. Snížení napětí nejvíce pomohlo přidání otočného elektropohonu, kdy se velká síla působící svisle dolů částečně zmenší o složku působící vodorovně. Vodorovná složka síly působí na elektropohon ze strany, který se tím lehce otočí a dochází k ohýbání šroubu. Toto natočení sníží sílu působící na nosnou konstrukci.

Největší naměřené napětí 183 MPa je v místech čepových spojů. Toto napětí by bylo vysoce přes mez úměrnosti a mez pružnosti, ale protože je elektropohon na takové zatížení navrhnutý, tak hodnotu mohu zanedbat. Pro lepší přehlednost vynechávám extrémy a dal jsem stupnici s maximální hodnotou 60 MPa.

Natočení elektropohonu lehce snížilo napětí na rameni, kdy došlo k poklesnutí ramene a zvětšení síly působící na čep. Největší napětí na rameni, které je v ohybu ramene, se pohybuje zhruba kolem 55 MPa. Pootočením ramene došlo k většímu posunu ramene a největší posunutí se zvětšilo z 1,5 mm na 3,2 mm.

K dalšímu snížení napětí dopomohlo i přenesení síly na vodící dráhu. Největší napětí je zde kolem 20 MPa a vychází v místě, kde dráha už není vyztužená bočnicí.

Na opoře došlo k většímu snížení napětí. Z původních 90 MPa se teď hodnota pohybuje přibližně 40 MPa. Všechna napětí dosahují vyhovujících hodnot a konstrukci není potřeba nijak zesilovat.



Obrázek 46 – Průběh napětí na konstrukci

Z výsledku analýz lze usoudit dobrou odolnost konstrukce i při navýšené zátěži. Nejrizikovější místo celé konstrukce je nosná deska, kde při přímé zátěži dosahovalo napětí hodnot 140 MPa. U analýzy celé konstrukce došlo k výraznému snížení napětí na 50 MPa, proto by v reálném provozu nemělo hrozit nebezpečí poškození. Odolnost desky by se dala navýšit přidáním žeber pod nejvíce namáhané části desky nebo celkové zvětšení tloušťky desky.

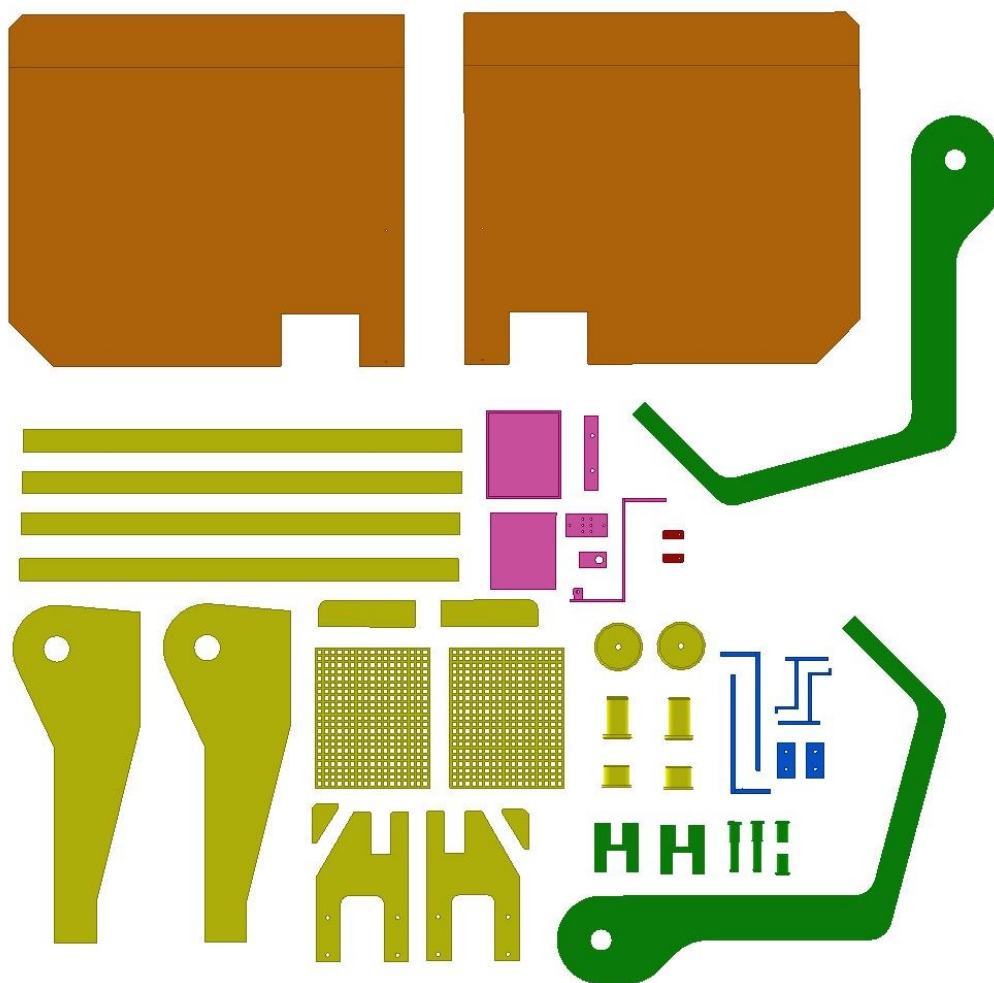
6. Cenová kalkulace

Navrhnutý upravený zásobník je plně automatický a ušetří tím práci obsluhy ohýbací linky, ale teď záleží na tom, jestli se předělání současného pevného zásobníku cenově vyplatí. Z tohoto důvodu provádím cenovou kalkulaci úpravy zásobníku, pomocí které se bude moct firma rozhodnout o realizaci úpravy. Cena zásobníku lze rozdělit na dvě části:

- Cena vyráběných dílů
- Cena nakoupených dílů

Vyráběné díly

Cena vyráběných dílů se skládá z přepravy zásobníku, nákupu materiálu, technologické úpravy dílů, úpravy původní bočnice a následného přivaření a montáže dílů na upravenou bočnici zásobníku. Cena vyráběných kusů byla zjištěna z Mubei v Žebráku. Všechny díly, které je potřeba vyrobit, jsou zobrazeny na Obrázku 47. Růžové a modré díly jsou součástí mazacího zařízení.



Obrázek 47 – Vyráběné díly

Nakoupené díly

Nakupované díly byly představeny v kapitole 4.2 Zvolené nakupované díly a jsou doplněny o doplňkové položky, které se skládají ze spojovacího materiálu, maziva, rozvodů a elektroniky. Uváděná hodnota je cena celkové objednávky podané u výrobce. Cena dílů byla zjištěna z webových stránek výrobců.

Tabulka 1 – Cena položek

Položka	Cena bez DPH [Kč]
Vyráběné díly	150 000
Elektropohony ZIMM	35 000
Senzorová technika ifm	30 000
Pneumatika Festo	32 000
Mazání Krautberger	31 000
Řetěz KabelSchlepp	2 000
Doplňky	50 000
Celková cena	330 000

Celková cena celé úpravy jednoho zásobníku se pohybuje kolem 330 000 Kč. Podle této ceny mohou ve firmě rozhodnout, jestli se úprava cenově vyplatí anebo pro kolik zásobníků by byla vhodná. Za zvážení stojí i potřeba obou zařízení. Cena mazacího zařízení se pohybuje kolem 80 000 Kč, zatímco cena zvedacího zařízení je kolem 280 000 Kč. V cenách jsou zohledněny doplňkové položky, které jsou potřebné nehledě na typ zařízení.

7. Závěr

V této práci byla navržena úprava stávajícího pevného zásobníku na zásobník s automatickým podáváním materiálu, kdy podávání bude plně automatické a řízené elektropohonem. Zásobník byl dále rozšířen o mazací zařízení, které namaže tyče nebo trubky olejem a zlepší tím třecí podmínky v ohýbačce.

V první části práce jsem se zaměřil na zhodnocení současného stavu zásobníku, kde představuji funkci, jednotlivé části zásobníku a přidávám informace o dodávaném materiálu pro výrobu stabilizátorů. V další kapitole seznamuji s nedostatky současného zásobníku, které spočívají převážně v překřizování a blokování polotovarů.

Následně jsem představil čtyři možné návrhy jejich odstranění, ale u některých verzí by nedošlo ke splnění všech požadavků. K variantám podávání materiálu jsem přidal i varianty možného mazání materiálu, kdy jedna varianta je konstrukčně složitější, ale splňuje všechny požadavky.

V další kapitole jsem se zabýval popisem konstrukce, kdy jsem vybral z návrhů nejvhodnější řešení zvedání a mazání materiálu, a to zvedání materiálu pomocí otočného ohnutého ramene a mazání pomocí mobilní pistole. V další části kapitoly jsem popisoval funkci finálního návrhu úpravy zásobníku a mazacího zařízení a seznámil co mě vedlo ke zvolení jednotlivých nakupovaných součástí. Navrhnutý zásobník je schopný pracovat plně automaticky a práci obsluhy je jen zásobník plnit.

V předposlední části jsem se zabýval pevnostní kontrolou nejvíce namáhaných částí zásobníku. Celá konstrukce odolává zatížení od hmotnosti materiálu velmi dobře. Nejrizikovější částí konstrukce je nosná deska, ale i ta by neměla být zátěží ohrožena.

Nakonec jsem provedl cenovou kalkulaci úpravy, podle které se firma může rozhodnout o výhodnosti úpravy zásobníku. Nejnákladnější položkou jsou úprava stávajícího zásobníku a výroba nových dílů. To prodražuje zvedací zařízení, naopak mazací zařízení tvořené převážně nakupovanými díly je výrazně levnější.

Průběžné změny na konstrukci až do její finální podoby jsem pravidelně konzultoval s konstruktéry z konstrukčního oddělení ve firmě Mubea. S návrhem jsou proto ve firmě spokojeni. Navržená úprava zásobníku nebo jen jednotlivá zařízení jsou připraveny na svou realizaci.

8. Seznam použité literatury

- [1] Mubea [online]. © 2020 Muhr and Bender KG [cit. 4.4.2020]. Dostupné z: <https://mubea.com/en>
- [2] Screw Jack Systems, *ZIMM* [online]. [cit. 26.3.2020]. Dostupné z: <https://en.zimm.com/infothek/zimm-downloads/>
- [3] Katalog, *ifm electronic* [online]. [cit. 26.3.2020]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/pdfcatalogs/Katalogy>
- [4] Product range overview, *Krautzberger* [online]. [cit. 26.3.2020]. Dostupné z: <https://www.krautzberger.com/en/service/downloads/general-documents/>
- [5] Přímočaré pohony DGC, *Festo* [online]. [cit. 26.3.2020]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DGC
- [6] The complete KabelSchlepp, *KabelSchlepp* [online]. [cit. 26.3.2020]. Dostupné z: <https://tsubaki-kabelschlepp.com/en-int/support/downloads/>
- [7] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-7361-011-6

9. Seznam příloh

Příloha A – Výkres upraveného zásobníku

Příloha B – Výkres zvedacího zařízení

Příloha C – Výkres nosné desky

Příloha D – Výkres mazacího zařízení

Příloha E – Výkres uchycení pístu

Poděkování

Děkuji firmě Mubea Stabilizer Bar Systems s.r.o. za poskytnuté téma diplomové práce a panu Petru Blumenscheinovi, DiS za poskytnuté rady a odborné vedení při řešení práce. Dále vedoucímu práce Ing. Tomáši Kubínovi, Ph.D. za připomínky a nápady. A nakonec své sestře Mgr. Andree Šperkové za finální kontrolu práce.